

Verhaltensbezogene Kennwerte zeitkritischer Fahrmanöver

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Fahrzeugtechnik Heft F 100

The logo consists of the word "bast" in a bold, lowercase, green sans-serif font. The letters are slightly shadowed, giving it a 3D appearance. The logo is positioned in the bottom right corner of the page.

Verhaltensbezogene Kennwerte zeitkritischer Fahrmanöver

von

Matthias Powelleit
Elke Muhrer
Mark Vollrath
Roman Henze
Louisa Liesner
Torben Pawellek

Technische Universität Braunschweig
Lehrstuhl für Ingenieur- und Verkehrspsychologie
Institut für Kraftfahrzeugtechnik

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Fahrzeugtechnik Heft F 100

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines
B - Brücken- und Ingenieurbau
F - Fahrzeugtechnik
M - Mensch und Sicherheit
S - Straßenbau
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt bei der Carl Schünemann Verlag GmbH, Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen, Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in der Regel in Kurzform im Informationsdienst **Forschung kompakt** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos angeboten; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Ab dem Jahrgang 2003 stehen die **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)** zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BASt-Archiv ELBA zur Verfügung.
<http://bast.opus.hbz-nrw.de>

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt FE 82.0536/2011:
Verhaltensbezogene Kennwerte zeitkritischer Fahrmanöver

Fachbetreuung:
Eike A. Schmidt

Herausgeber
Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0 · Telefax: (0 22 04) 43 - 674

Redaktion
Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag
Fachverlag NW in der
Carl Schünemann Verlag GmbH
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53 · Telefax: (04 21) 3 69 03 - 48
www.schuenemann-verlag.de

ISSN 0943-9307
ISBN 978-3-95606-146-2

Bergisch Gladbach, Februar 2015

Kurzfassung – Abstract

Verhaltensbezogene Kennwerte zeitkritischer Fahrmanöver

Das wesentliche Ziel des Projekts war es, Kennwerte des Reaktionsverhaltens in sicherheitskritischen Situationen zu erheben. Weiter sollten Rahmenbedingungen für eine standardisierte Erhebung dieses Reaktionsverhaltens erarbeitet werden. Dies kann vor allem als Basis für die Auslegung und Untersuchung der Wirkung von Fahrerassistenzsystemen genutzt werden. Zu diesem Zweck wurden drei Untersuchungen in einem statischen Fahr-simulator durchgeführt, die sich vom Kontext (Stadt: 50 km/h, Landstraße: 100 km/h, Autobahn: 130 km/h) unterschieden. Zur Validierung fand ein vergleichbarer Realversuch im Stadtbereich statt. Dabei wurde jeweils der Einfluss der Umgebung, der Erwartung und von kognitiver Ablenkung auf die Art der Reaktion (Lenken, Bremsen, kombinierte Reaktionen) und die Reaktionszeiten untersucht. An der Untersuchung nahmen insgesamt 131 Fahrer im mittleren Altersbereich zwischen 20 und 40 Jahren teil wobei etwa die Hälfte weiblich war. In den kritischen Situationen tauchte entweder ein Fußgänger oder stehendes Fahrzeug plötzlich vor dem eigenen Fahrzeug auf oder ein Führungsfahrzeug bremste unerwartet stark.

Beim Vergleich von Realfahrt und Simulator zeigte sich eine hohe Validität der Simulatorergebnisse. Die Wahl des Fahrmanövers hing maßgeblich von der zur Verfügung stehenden Zeit und dem Ausweichraum ab. Bremsreaktionszeiten lagen zwischen 1.0 (Stadt) und 1.1 (Autobahn) Sekunden, Lenkreaktionszeiten zwischen 0.7 (Stadt) und 1.3 (Autobahn) Sekunden. Bei der Folgefahrt verlängerte sich die Reaktionszeit um etwa 0.2-0.3 Sekunden. Ein Einfluss der kognitiven Ablenkung war nicht nachzuweisen. Dagegen fanden sich deutliche Lerneffekte, was zu einer Verkürzung der Reaktionen um 0.2-0.4 Sekunden führte. Aus den Ergebnissen lässt sich ein Set von 9 Situationen definieren, mit denen man unterschiedliche Arten von Reaktionen und die durch die situativen Bedingungen beeinflussten Reaktionszeiten untersuchen kann.

Behaviour-related parameters in time-critical driving-situations

The main aim of the project was to provide typical values of reaction behavior in safety-critical situations in traffic. Additionally, test conditions were to be defined in order to enable a comparable examination of reaction behavior by other researchers. The results can be used to design and evaluate advanced driver assistance systems in standardized conditions. To this aim three driving simulator studies were conducted using a static simulator. Each of the studies used a different context (town: 50 km/h, rural road: 100 km/h, highway 130 km/h). For validation purposes a comparable study with a real car was done for the town context. In each of the studies the influence of the surrounding, expectations of the driver and of cognitive distraction was examined with regard to the type of reaction (steering, braking, combined reaction) and reaction times. N = 131 participants were between 20 to 40 years of age. About half of them were female. In the critical situations, either a pedestrian or a standing car suddenly appeared in some distance of the own, moving car. In an additional situation a lead car suddenly braked.

Comparing simulator and real driving showed a high validity of the simulator results. The type of reaction depended on the time left to react and the available space. Brake reaction times were between 1.0 s (town) and 1.3 s (highway). Steering reaction times were between 0.7s (town) and 1.1s (highway). Reaction time during car following were about 0.2-0.3 s slower. There was no effect of cognitive distraction. However, there were strong learning effects leading to reaction times which were between 0.2-0.4s shorter. From the results, a set of 9 situations is defined which can be used to examine different reaction types and reaction times depending on relevant situational characteristics.

Inhalt

1	Einleitung	7	6.1.2	Ausprägung	37
2	Fahraufgabe und Reaktionen des Fahrers	7	6.1.3	Blickdaten	39
3	Literaturanalyse	10	6.2	Aufbereitung der Daten	39
3.1	Struktur der Darstellung	10	6.3	Statistische Auswertung	40
3.2	Methodisches Vorgehen	11	7	Abgleich Simulator vs. Realfahrzeug	41
3.3	Metaanalysen und Reaktionszeitstudien	11	7.1	Datenauswahl	41
3.4	Bremsreaktionszeiten bei Untersuchung von Assistenzsystemen	14	7.2	Reaktionsmuster	41
3.5	Bremsreaktionszeiten bei Studien zur Ablenkungswirkung	16	7.3	Reaktionszeiten	42
3.6	Bremsreaktionen und Rahmenbedingungen	18	7.4	Ausprägungen der Reaktionen	43
3.7	Lenkreaktionszeiten	20	7.5	Vergleich mit kritischen Realfahrerszenarien aus 3F-Datenbank	46
3.8	Zusammenfassung Reaktionszeiten	21	7.5.1	Datenbasis	46
4	Schlussfolgerungen für die experimentelle Umsetzung	22	7.5.2	Relevante Fahrerszenarien	46
5	Methode	23	7.5.3	Kennwerte	47
5.1	Fahrsimulator	23	7.6	Fazit	48
5.1.1	Versuchsplan	23	8	Art der Reaktion und Reaktionszeiten	48
5.1.2	Stichprobe	24	8.1	Einfluss des Kontextes	48
5.1.3	Material	25	8.2	Einfluss der Szenariotypen	50
5.1.4	Ablauf	31	8.3	Einfluss der Ablenkung	53
5.2	Nachgestellte Stadtfahrt im Realversuch	32	8.4	Einfluss der Erwartung	54
5.2.1	Versuchsplan	32	9	Die Rolle der Aufmerksamkeit	59
5.2.2	Stichprobe	33	9.1	Inter-Rater-Reliabilität	59
5.2.3	Material	33	9.2	Blick vor kritischem Ereignis	60
6	Datenaufbereitung	35	9.3	Blick zu Beginn des kritischen Ereignisses	63
6.1	Definition der Kennwerte	36	9.4	Blick nach dem kritischen Ereignis	64
6.1.1	Reaktionszeiten	37	10	Ergebnisse – Personeneigenschaften	66
			10.1	Wiener Testsystem	66
			10.2	Sensation Seeking – Persönlichkeitseigenschaft	69

10.3	Fahrerfahrung.....	72
10.4	Fahrstil	74
10.5	Auswirkungen von Personeneigenschaften	76
11	Diskussion.	76
	Literatur	80

1 Einleitung

Rechtzeitig zu reagieren ist eine der sicherheitsrelevantesten Aufgaben, die der Fahrer im Straßenverkehr bewältigen muss um Unfälle zu verhindern. Viele Faktoren können diese Reaktionsfähigkeit beeinflussen und dazu führen, dass an sich ungefährliche Situationen in eine Kollision münden oder in kritischen Situationen Unfälle doch „in letzter Sekunde“ verhindert werden können. Doch wie lange brauchen Fahrer für Reaktionen bei bestimmten Fahrmanövern tatsächlich? Welche Gegebenheiten bringen den Fahrer dazu, sich für das eine oder das andere Fahrmanöver zu entscheiden? Diese Fragen zu beantworten war Ziel dieses Projektes, in dem der Fokus darauf lag, Kennwerte zeitkritischer Fahrmanöver im Verkehrsgeschehen zu erheben.

Die Untersuchungen fanden im Fahr Simulator statt, wie viele ähnliche Studien auch, da dies es ermöglichte, kritische Situationen ohne Gefahr für die Testfahrer zu realisieren und unter kontrollierten Bedingungen beliebig oft zu wiederholen. Dabei stellt sich immer wieder die Frage nach der Übertragbarkeit auf die Reaktionen der Fahrer in einem realen Fahrzeug. Um diese Vergleichbarkeit zu prüfen, wurden in diesem Projekt ausgewählte Fahrmanöver zusätzlich im Realfahrzeug untersucht.

Die Frage nach den Reaktionszeiten von Fahrern in zeitkritischen Situationen hatte auch das Ziel, daraus Schlussfolgerungen für die zeitliche Konfiguration von Assistenzsystemen zu ziehen. Weiter können die Ergebnisse als Basis für die Untersuchung der Wirkung von Fahrerassistenzsystemen genutzt werden. Experimentelle Untersuchungen zur Wirkung von Fahrerassistenzsystemen (FAS) im Fahr Simulator oder im Realverkehr vergleichen in der Regel eine Fahrt ohne System mit Fahrten mit System (z. B. VOLLRATH, SCHLEICHER & GELAU, 2011). Dabei werden je nach System und Forschergruppe unterschiedliche Fahr Szenarien für diesen Vergleich herangezogen. Während sich im Bereich der objektiven Systembewertung (beispielsweise in TÜV- und Prettetests, aber auch durch die Arbeit in Standardisierungsgremien) zunehmend feste Testbedingungen etablieren, die zu reproduzierbaren Kennwerten in Bezug auf die Systemfunktionalität führen (z. B. beim Auffahren auf Objekte mit definierten Relativgeschwindigkeiten), ist der Vergleich des menschlichen Umgangs mit den unterschiedlichen Systemen aufgrund der uneinheitlichen Versuchsbedingungen bisher praktisch kaum möglich.

In diesem Projekt wurde deshalb die Entwicklung von Testvorgaben und der darin auftretenden typischen Fahrerreaktionen angestrebt, wobei insbesondere verhaltensbezogene Referenzgrößen für Lenk- oder Bremsreaktionszeiten (bei Fahrten ohne System) benötigt werden, um in späterer Folge mögliche Veränderungen durch intervenierende, sicherheitsrelevante Fahrerassistenzsysteme zu bewerten.

Bei den durchgeführten Studien handelt es sich um Situationen, in denen entweder ein Führungsfahrzeug plötzlich bremst oder ein Hindernis, Fahrzeug oder anderer Verkehrsteilnehmer plötzlich auf der Fahrbahn erscheint, da dies die typischen Situationen sind, in denen eine Fahrerreaktion erforderlich ist. Je nach Umgebungsbedingungen (Gegenverkehr, Bebauung, Abstand zum Hindernis) ist ein Bremsengriff, ein Lenkeingriff oder eine Kombination beider Reaktionen sinnvoll. Für diese Reaktionen wurden die Referenzgrößen erhoben. Die Test Szenarien wurden vorab genau spezifiziert, um diese Referenzgrößen in Realfahrten und im Fahr Simulator zu erheben, wobei der Einfluss unterschiedlicher Grundsituationen mit dort typischer Geschwindigkeit (Stadtfahrt mit 50 km/h, Landstraße mit 100 km/h und Autobahn mit 130 km/h) berücksichtigt wurde.

Um die Ergebnisse einzuordnen und mit bereits vorliegenden Studien zu vergleichen, wurde zunächst eine ausführliche Literaturanalyse über typische Brems- und Lenkreaktionszeiten im Straßenverkehr durchgeführt. Die wesentlichen Ergebnisse werden in Kapitel 3 dargestellt. Die Ergebnisse sind einerseits für die Einordnung der eigenen Befunde wichtig. Andererseits wurden sie für die Planung der Experimente im Simulator und im Realversuch genutzt. Für die Darstellung der Literatur erscheint es sinnvoll, zunächst einen kurzen Überblick über die psychologischen Grundlagen der Fahrerreaktion zu geben. Dies ist der Inhalt des nächsten Kapitels.

2 Fahraufgabe und Reaktionen des Fahrers

Voraussetzung für die Erfassung von Reaktionszeiten im Straßenverkehr ist ein grundsätzliches Verständnis der kognitiven Prozesse bei der Ausführung einer Handlung. Dazu ist zunächst zu definieren, was unter Reaktionszeit überhaupt zu verstehen ist:

- „Reaktionszeit ist die Zeit, die zwischen Reizdarbietungsbeginn und Auftreten der reizbezogenen Verhaltensantwort des Individuums verstreicht.“ (ZIMMER, 1995, S. 388)

Die Reaktionszeit setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen. KLEBELSBERG (1982) unterscheidet Wahrnehmungszeit, Erkennungszeit und Entscheidungszeit.

- Die Wahrnehmungszeit beschreibt das Bewusstwerden der Information.
- Die Erkennungszeit umfasst das Verstehen und Einschätzen der Situation.
- Die Entscheidungszeit beschreibt die Entscheidung dafür, ob und welche Reaktion ausgeführt wird.

Diese Trennung ist sicherlich sinnvoll und die Existenz der zugrundeliegenden Prozesse ist gut belegt. Allerdings ist die zeitliche Trennung aufgrund einer Verhaltensmessung nur schwer möglich. Indirekt kann dies untersucht werden, indem unterschiedliche Arten von Reaktionen unterschieden werden. DONDERS (1969) beschreibt dies in seinem Modell, das in Bild 1 dargestellt ist. Auch hier finden sich die Stufen der Detektion (Wahrnehmungszeit), Diskrimination (Erkennungszeit) und Handlungsauswahl (Entscheidungszeit). Einfachreaktionen sind wesentlich durch die Detektion determiniert, da sofort nach der Entdeckung irgendeines Reizes reagiert werden soll. Verlangt man bei einer „Go-NoGo-Reaktion“ bei einem Reiz zu reagieren, bei einem anderen nicht, so ist zusätzlich eine Diskrimination nötig. Sind schließlich bei verschiedenen Reizen unterschiedliche Reaktionen notwendig, so kommt die Handlungsauswahl hinzu. Durch die Variation der Aufgabe kann damit abgeschätzt werden, welche Zeit zusätzlich benötigt wird, wenn unterschiedliche psychische Prozesse beteiligt sind. Dies ist näherungsweise auch im Straßenverkehr zu beobachten. Bei einer Einfachreaktion folgt auf

die Detektion des entsprechenden Reizes die Handlung, was zu deutlich kürzeren Reaktionszeiten führt, da Diskrimination und Handlungsauswahl weitgehend entfallen. Dies ist der Fall, wenn ein Fahrer auf das Auftreten eines Reizes wartet, um dann zu reagieren, wie es beim Warten an der roten Ampel der Fall ist. Bei einer Wahlreaktion ist dagegen je nach Reiz unterschiedlich zu reagieren. Deshalb müssen die Reize zunächst voneinander unterschieden und dann die entsprechende Handlung ausgewählt werden. Eine Zwischenform ist die Go-NoGo-Reaktion, bei der nur dann reagiert werden muss, wenn ein bestimmter Reiz auftritt (z. B. die Ampel von Grün auf Rot schaltet). Bei dieser Reaktion wird im Gegensatz zur Einfachreaktion nicht gewartet, bis ein bestimmter Reiz auftritt, sondern das Erscheinen eines Reizes muss in einer komplexen Umwelt erkannt werden, sodass hier auch eine Diskrimination des kritischen Reizes von unwesentlichen Reizen stattfindet, aber eine Handlungsauswahl aus mehreren Alternativen nicht notwendig ist.

Entsprechend dieser Modellvorstellung zeigen viele Laborstudien, dass Go-NoGo-Reaktionen und Wahlreaktionen längere Reaktionszeiten zur Folge haben als Einfachreaktionen. Die Zeit für das motorische Ausführen der Reaktion ist dagegen in allen Fällen gleich, wie z. B. MILLER & LOW (2001) zeigten. Unterschiede in den Reaktionszeiten sind daher eindeutig auf diese unterschiedlichen Verarbeitungszeiten zurückzuführen.

Die Idee unterschiedlicher Verarbeitungsprozesse wurde in dem Modell von RASMUSSEN (1983) noch weiter vertieft. Dies unterscheidet drei Kategorien unterschiedlich stark kognitiv beanspruchender Handlungen:

- wissensbasierte Handlungen (knowledge-based behavior),
- regelbasierte Handlungen (rule-based behavior),

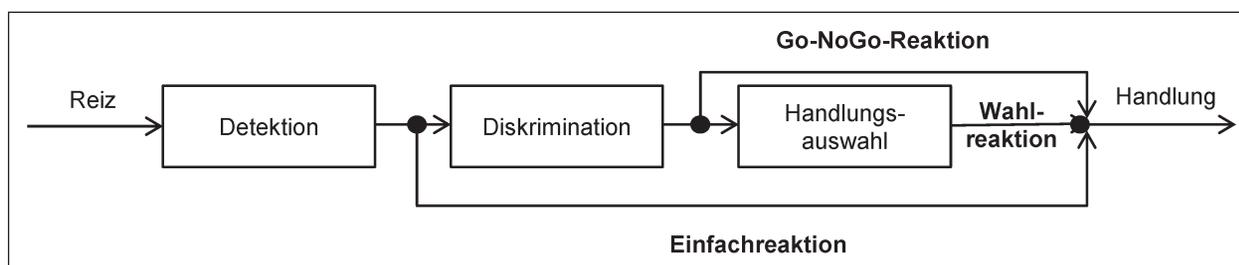


Bild 1: Psychische Prozesse bei unterschiedlichen Arten von Reaktionen (modifiziert nach DONDERS, 1969, in DERICHS, 1998, S. 3)

- fertigkeitbasierte Handlungen (skill-based behavior).

Unter wissensbasierten Handlungen versteht man Prozesse wie Planen, Entscheiden, Problemlösen und Urteilen. Regelbasierte Handlungen ergeben sich aus „Wenn-Dann-Regeln“ oder anderen gelernten Regeln. Fertigkeitbasierte Handlungen sind automatisierte Reaktionsmuster, Gewohnheiten oder stereotype Reaktionen. Fertigkeitbasierte Handlungen sind damit die Basis der Einfachreaktionen und Go-NoGo-Reaktionen, während regelbasierte Handlungen den Wahlreaktionen entsprechen, bei denen je nach Reiz eine bestimmte Reaktion erfolgen muss. Bei wissensbasierten Handlungen werden bewusste Entscheidungen getroffen, wobei man dann von Entscheidungszeiten statt Reaktionszeiten sprechen würde. Diese Arten von Handlungen finden sich auch beim Fahren.

Dies griff zum Beispiel BERNOTAT (1970) in seinem Drei-Ebenen-Modell des Fahrens auf (s. auch (DONGES, 1982; MICHON, 1985). Er unterteilt die primäre Fahraufgabe in die Stabilisierung-, Führungs- und Navigationsebene. Auf der untersten Ebene (Stabilisierungsebene) findet die Längsregelung (Distanz zu vorausfahrenden und rückwärtigen Fahrzeugen) und Querregelung (Position des Fahrzeugs innerhalb des Fahrstreifens) statt (DONGES, 2009). Der Fahrer muss Abweichungen von seiner Soll-Bahnführung durch Regulationsmanöver mittels Gas, Bremse und Lenkung ausgleichen. Diese Tätigkeiten spielen sich meist im Millisekundenbereich ab (DONGES, 2009) und entsprechend fertigkeitbasierten Handlungen nach dem Modell von RASMUSSEN (1983).

Auf der mittleren Ebene (Führungsebene) wird die Planung von Fahrmanövern in die konkrete Situation umgesetzt. Aus der vorliegenden, wahrgenommenen Verkehrssituation und der geplanten Fahrtroute werden gewünschter Fahrstreifen und Sollgeschwindigkeit abgeleitet und dementsprechende Fahrmanöver ausgeführt (DONGES, 2009). Fahrstreifenwechsel, Überholmanöver, Kreuzungsmanöver und das Ausweichen von Hindernissen zählen beispielsweise zu dieser Ebene. Diese Fahrmanöver finden meist im Sekundenbereich statt. Sie sind im Modell von RASMUSSEN (1983) zumindest bei geübten Fahrern den regelbasierten Handlungen zuzuordnen.

Auf der höchsten Ebene (Navigationsebene) finden die Planung der Fahrtroute, der zeitliche Ablauf der

Fahrt sowie die Anpassung der Routenplanung bei Streckensperrungen, beispielsweise durch Staus oder Baustellen, statt. Ein typisches Beispiel für eine Aufgabe auf der Navigationsebene ist das Erkennen von bestimmten Streckenmerkmalen, um zu wissen, dass man auf dem richtigen Weg ist. In Abhängigkeit der Fahrtroute sind Aufgaben auf der Navigationsebene zeitlich gesehen schwer einzuordnen, größtenteils aber länger dauernde Aufgaben. Es handelt sich hier um wissensbasierte Handlungen nach dem Modell von RASMUSSEN (1983).

Die in Bild 1 dargestellten Arten von Reaktionszeiten sind damit sehr gut diesen Handlungsebenen zuzuordnen. Auf der Stabilisierungsebene geht es im Wesentlichen um Einfachreaktionszeiten bzw. Go-NoGo-Reaktionen, während auf der Führungsebene zumeist Wahlreaktionen erforderlich sind. Die Art der Fahraufgabe ist damit eine wesentliche Einflussgröße auf die Reaktionszeit beim Fahren.

Weiter kommt hinzu, dass die Reaktion beim Fahren spezielle motorische Anteile enthält und die Reaktion des Fahrers im Fahrzeug umgesetzt werden muss. Betrachtet man daher die Zeit, bis ein Fahrzeug auf den Eingriff des Fahrers reagiert, so ergibt sich in bestimmten Situationen zum Beispiel eine Gesamtreaktionszeit von etwa einer Sekunde (SACHER, 1998 in BOSCH, 2007). Muss der Fahrer seinen Blick erst dem relevanten Reiz zuwenden, addiert sich noch die Zeit der Blickzuwendung von ca. 0.35 Sekunden. Die Reaktionszeit ist zusätzlich davon abhängig, welche Reaktion ausgeführt werden muss. SACHER (1998, in BOSCH, 2007) unterscheidet beispielsweise zwischen Vorbremszeit und Vorlenkzeit. Die Vorbremszeit dauert ca. 0.8-1 Sekunden und setzt sich aus Reaktionszeit, Fußumsetzzeit, Ansprechzeit und halber Schwellzeit der Bremsanlage zusammen. Die Vorlenkzeit liegt bei ca. 0.6 bis 0.8 Sekunden und ist damit etwa 0.2 Sekunden kürzer (SACHER, 1998 in BOSCH, 2007). GREEN (2000) beschreibt zusätzlich die „Device Response Time“, also die Zeit, die ein Fahrzeug benötigt, um durch die durch den Fahrer ausgelöste Bremsreaktion zum Stillstand zu kommen.

Die Abhängigkeit der Reaktionszeit von den dabei beteiligten Reizen und motorischen Reaktionen führen dazu, dass Brems- und Lenkreaktionszeiten nicht vergleichbar sind mit Reaktionszeiten aus Laborstudien, in denen auf zumeist einfache Reize mit einem Knopf- oder Tastendruck reagiert werden

muss. Entsprechend folgerte BURG (2009), dass im Labor gemessene Reaktionszeiten kaum mit verkehrsangepasstem Reaktionsverhalten zu vergleichen ist. Er beschreibt neben der Informationsverarbeitungszeit (primäre Reaktionszeit) die motorische Phase (Reizleitung und Muskelaktivierung: 0.005 s bis 0.05 s), die Umsetzdauer (Wegnahme des Fußes vom Gaspedal bis zum Berühren des Bremspedals, sekundäre Reaktionszeit: 0.15 s bis 0.3 s), die Anlegedauer (Überwindung der Spiele und Elastizitäten im mechanischen Teil der Bremsanlage oder der Lenkung: 0.015 s bis 0.05 Sekunden) und die Schwelldauer (Anfang des Bremsdruckanstiegs bis zum Erreichen des Maximaldrucks für die jeweilige Bremsung bzw. des notwendigen Lenkradwinkels, tertiäre Reaktionszeit: 0.15 bis 0.3 Sekunden).

In den meisten Untersuchungen wird dies nicht so fein differenziert, sondern man unterscheidet eine „Total Braking Time“ (TBT), die sich aus „Brake Reaction Time“ (BRT) und „Movement Time“ (MT) zusammensetzt. Die BRT beschreibt die Zeit von dem Auftauchen des Reizes bis zur Wegnahme des Fußes vom Gaspedal, die MT die Zeit, bis der Fuß beginnt, die Bremse zu betätigen. Die TBT nimmt also die Ansprechzeit der Mechanik aus. Bei der Lenkreaktion ist diese Unterscheidung nicht notwendig, da in der Regel die Hände am Lenkrad liegen und so die Reaktion direkt begonnen werden kann. Damit gibt es hier nach dieser Logik nur eine Lenkreaktionszeit als Zeit vom Auftauchen des Reizes bis zum Beginn der Lenkradbewegung. Die Ansprechzeit der Lenkung wird hier in der Regel nicht berücksichtigt.

Zusammenfassend werden damit vier zentrale Aspekte von Reaktionszeiten im Folgenden unterschieden:

- Gasrücknahmezeit als Zeit vom Auftauchen des Reizes bis zum Verlassen des Gaspedals,
- Umsetzzeit als Zeit vom Verlassen des Gaspedals bis zur Betätigung der Bremse,
- Bremsreaktionszeit als Summe von Gasrücknahmezeit und Umsetzzeit,
- Lenkreaktionszeit als Zeit vom Auftauchen des Reizes bis zur Betätigung der Lenkung.

Damit sind die wichtigsten Komponenten der Reaktionszeit im Fahrzeug definiert und kurz beschrieben. Auf dieser Basis wird im Folgenden als Ergebnisse eines Literaturüberblicks berichtet, welche

Reaktionszeiten im Verkehr in Abhängigkeit unterschiedlicher Einflussfaktoren zu finden sind. Eine große Herausforderung dabei ist, dass Untersuchungen zu Reaktionszeiten im Straßenverkehr nicht immer als solche deklariert sind. In den meisten Fällen untersuchen Forscher ein bestimmtes Thema wie „Ablenkung“, „Erwartung“ etc. und betrachten dann als einen Fahrparameter die Reaktionszeit der Fahrer. Somit ist es nicht ausreichend, nach Begriffen wie „reaction time“ und/oder „response time“ in verkehrspsychologischer Literaturdatenbanken zu suchen, sondern nach Einflussfaktoren auf das Fahrverhalten generell, um dann zu betrachten, ob Reaktionszeitparameter analysiert worden sind oder nicht. Die entsprechende Suchstrategie und die Ergebnisse werden im folgenden Kapitel dargestellt.

3 Literaturanalyse

3.1 Struktur der Darstellung

In der Literatur findet man eine Vielzahl an empirischen Studien zu Reaktionszeiten. Diese im Detail zu beschreiben, würde den Rahmen der vorliegenden Studie sprengen. In einem ersten Abschnitt wird ein Überblick über Metaanalysen älterer Reaktionszeitstudien gegeben und einige breit angelegte Studien beschrieben, bei denen versucht wurde, die Frage nach „den“ Reaktionszeiten im Straßenverkehr zu beantworten. Es wird jedoch schnell deutlich, dass die verschiedenen Untersuchungen kaum vergleichbar sind, da sich die Situationen, unter denen Reaktionszeitexperimente durchgeführt werden, beträchtlich unterscheiden. Dabei haben etliche Rahmenbedingungen einen gravierenden Einfluss auf die Reaktionszeiten. Diese Rahmenbedingungen kann man als Aspekte des Verkehrssystems betrachten, welches sich grob in drei Komponenten unterteilt: Fahrzeug, Fahrer und Fahrumgebung (Bild 2).

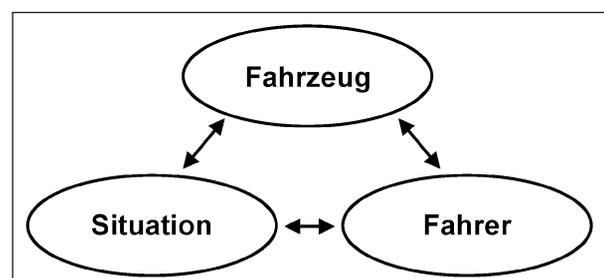


Bild 2: Komponenten des Verkehrssystems

Je nach Ausprägung der einzelnen Komponenten hat dies Konsequenzen für die Fahraufgabe. Das rechtzeitige Reagieren ist Teil dieser Fahraufgabe. Die Frage, ob es in einem System wie dem Straßenverkehr „die eine“ Reaktionszeit gibt, kann bis heute mit „nein“ beantwortet werden. Im Labor ist es möglich, Reaktionszeiten zu erforschen, bei denen auf Signale reagiert werden muss, während man die Außenbedingungen konstant hält. Auf diese Weise kann man prüfen, wie schnell Menschen überhaupt reagieren können. Der Straßenverkehr hingegen stellt ein weites Feld mit einer Vielzahl von Einflüssen und einer hohen Komplexität dar, in der es kaum vergleichbare Bedingungen gibt.

Entsprechend werden in einem weiteren Abschnitt Studien dargestellt, bei denen Einflussgrößen eine Rolle spielen, die diesen drei Komponenten des Verkehrssystems zuzuordnen sind. Hinsichtlich des Aspekts „Fahrzeug“ liegt aus letzter Zeit eine ganze Reihe von Untersuchungen vor, die den Einfluss von Fahrassistenzsystemen auf die Reaktionsfähigkeit der Fahrer untersuchen. Im entsprechenden Literaturteil werden daher vor allem Untersuchungen vorgestellt, die Reaktionszeiten mit und ohne System vergleichen. Die Aspekte „Situation“ und „Fahrer“ lassen sich in weitere Punkte untergliedern. Hinsichtlich der Situation spielen Reizeigenschaften eine bedeutende Rolle. Saliente, d. h. auffällige Reize könnten die Aufmerksamkeit des Fahrers stärker auf sich ziehen und schneller zu einer Reaktion führen als weniger saliente Reize. Auch die Reizmodalität kann hier relevant sein. Zusätzlich muss man auch die Umgebungsbedingungen betrachten, in denen sich der Fahrer befindet. Es könnte z. B. einen bedeutenden Unterschied machen, wie Fahrer bei schlechten Wetter- und Straßenbedingungen im Gegensatz zu trockenen Straßenverhältnissen und guter Sicht reagieren müssen. Auch die Verkehrsdichte fällt unter diesen Punkt, da beispielsweise bei wenig Verkehr die Aufgabe hauptsächlich auf der Stabilisierungsebene stattfindet, während bei mehreren Verkehrsteilnehmern vor allem das Ausführen von Fahrmanövern im Vordergrund steht. Den Fahrer aspekt kann man in Fahreigenschaften und Fahrerzustände unterteilen, wobei diese auf längerfristige, überdauernde und aktuelle Faktoren bezogen sind.

3.2 Methodisches Vorgehen

Für die Analyse wurde in den Datenbanken „Science Direct“, „Scopus“, „WTI Frankfurt“ und

„GVK plus“ recherchiert. Zusätzlich wurden Forschungsberichte nach Reaktionszeiten im Straßenverkehr durchsucht und berücksichtigt. Nach folgenden Begriffen wurde alleine und in Kombination, auf Deutsch und Englisch gesucht: “reaction time, reponse time, brake reaction time, brake response time, steering response time, steering wheel, age, gender, distraction, expectation, driver assistance, collision warning, fatigue, drowsiness”. Die einzelnen Artikel wurden zunächst daraufhin bewertet, inwieweit sich dort verwertbare Angaben über Reaktionszeiten ergaben. Weiter wurden Artikel berücksichtigt, die in den gefundenen zitiert worden waren. Durch diese Vorgehensweise ergab sich eine Datenbank mit insgesamt 160 Quellen, die folgenden Kategorien zuzuordnen sind:

- 89 Zeitschriftenartikel,
- 18 Beiträge in Sammelwerken,
- 15 Bücher (Sammelwerke),
- 10 Reports,
- 11 Hochschulschriften,
- 6 Vorträge,
- 3 Tagungsbände,
- 3 Internetdokumente,
- 3 Bücher (Monographien),
- 2 unklare Dokumententypen.

Im Folgenden wird zuerst mithilfe von durchgeführten Metaanalysen ein Überblick über ältere Studien zu Reaktionszeiten gegeben (JOHANNSSON & RUMAR, 1971; LISPER, ERIKSSON & FAGERSTROM, 1979; MALATERRE, FERRANDEZ, FLEURY & LECHNER, 1988, LIEBERMANN, BEN-DAVID, SCHWEITZER, APTER & PARUSH, 1995; SCHWEITZER, APTER, BEN-DAVID, LIEBERMANN & PARUSH, 1995; SUMMALA, LAMBLE & LAAKSO, 1998). Details zu in diesen Metaanalysen berücksichtigten Studien sind in der jeweiligen Metaanalyse zu finden. In Kapitel 3.3 werden zusammenfassende Darstellungen aus den Metaanalysen verwendet.

3.3 Metaanalysen und Reaktionszeitstudien

SOHN & STEPLEMAN (1998) berücksichtigten in ihrem Review 26 Studien aus den Jahren 1960-

1995. Als zentralen Parameter berichten sie Ergebnisse zu Bremsreaktionszeiten, d. h. die Summe aus Gasrücknahmezeit und Umsetzzeit. Diese unterscheiden sich zwischen den Studien stark und reichen von 0.55-1.50 Sekunden. Die wichtigste Ursache dieser Unterschiede ist die Aufmerksamkeit der Fahrer. Weiter sind die Zeiten je nach Land unterschiedlich, in dem die Studie stattfand, wobei unklar ist, worauf diese Unterschiede zurückzuführen sind.

Eine sehr umfassende Metaanalyse führte GREEN (2000) durch. Er konzentrierte sich ebenfalls auf Bremsreaktionen und versuchte, die relevanten Einflussfaktoren mithilfe von 40 Studien aus den Jahren 1952 bis 2000 zu bestimmen. Er unterschied dabei Versuchsparadigma, Signale, auf die reagiert werden musste, Reaktionen, die ausgeführt werden mussten und betrachtete die Einflussfaktoren Erwartung, Alter, Geschlecht, Dringlichkeit der Reaktion und kognitive Beanspruchung. Für die drei Aspekte der Bremsreaktionszeit fanden sich in den Studien folgende Bereiche, wobei nicht alle Studien alle Reaktionszeiten berichteten:

- Gasrücknahmezeit: 0.25-1.28 Sekunden,
- Umsetzzeit: 0.15-0.40 Sekunden,
- Bremsreaktionszeit: 0.42-1.95 Sekunden.

Von den von ihm untersuchten Einflussfaktoren erschien die Erwartung am wichtigsten. Bei erwarteten Ereignissen lagen die Bremsreaktionszeiten bei 0.7 Sekunden, wobei 0.2 Sekunden davon die Umsetzzeit beträgt. Auf unerwartete Ereignisse wird im Schnitt mit 1.25 Sekunden, auf überraschende Ereignisse mit 1.5 Sekunden, wobei hierbei die Umsetzzeit mit 0.3 Sekunden ebenfalls etwas verlängert ist. Dabei sind unerwartete Ereignisse solche, die prinzipiell häufig auftreten, aber in der konkreten Situation nicht unbedingt erwartet wurden (z. B. Aufleuchten der Bremslichter des Vorderfahrzeugs). Überraschende Ereignisse sind dagegen unerwartet und selten (z. B. Wild, welches die Straße plötzlich kreuzt).

Weiter zeigte sich, dass dringliche Reaktionen tendenziell schneller ausgeführt werden als weniger dringliche Reaktionen. In extremen Notsituationen wiederum verlängern sich die Reaktionen, insbesondere, wenn die Fahrer sich schnell für eine Verhaltensalternative entscheiden müssen. Bei dem Einfluss des Alters zeigten sich widersprüchliche Ergebnisse, wobei ältere Personen in vielen Fällen

0.1-0.3 Sekunden langsamer reagieren als jüngere Personen. Dem Einfluss von kognitiver Beanspruchung durch die Fahraufgabe oder durch beanspruchende Nebentätigkeiten schreibt GREEN (2000) eine Reaktionszeit verlängernde Bedeutung zu, beschreibt diesen aber als nicht quantifizierbar. Generell erwähnt auch GREEN (2000) die Schwierigkeit, Reaktionszeitexperimente aufgrund ihrer unterschiedlichen Versuchsanordnung zu vergleichen.

YOUNG & STANTON (2007) führten ein weiteres Review mit 12 aktuellen Studien durch. Über die Studien hinweg ergaben sich dabei folgende Werte, wobei nicht alle Studien alle drei Parameter berichteten:

- Gasrücknahmezeit: 0.4-6.3 Sekunden,
- Umsetzzeit: 0.2 - 0.3 Sekunden,
- Bremsreaktionszeit: 0.6-2.5 Sekunden.

In Abhängigkeit vom Fahrer variierten die Bremsreaktionszeiten von 0.6 Sekunden bei aufmerksamen Fahrern bis 2.5 Sekunden bei älteren Fahrern. Im Hinblick auf die Umwelt finden sich kürzere Reaktionszeiten von 0.6 Sekunden bei 80 km/h und kürzeren Abständen im Vergleich zu 0.7 Sekunden bei 60 km/h und längeren Abständen zum Vorderfahrzeug, auf das reagiert werden musste.

Weitere grundlegende Studien zu Reaktionszeiten wurden in Deutschland durchgeführt, die in diesen Metaanalysen nicht erfasst wurden. Dabei wurde versucht, Reaktionszeiten in kritischen Situationen zu erheben und diese in die einzelnen Komponenten der Reaktionszeit zu zerlegen, um dies für Unfallrekonstruktionen nutzen zu können. Weiter wurden auch Lenkreaktionen untersucht.

In einer Studie von Daimler-Benz und der DEKRA (ZOMOTOR, 1987) wurden in kritischen Situationen unterschiedliche Fahrerreaktionen (bremsen, lenken, bremsen und lenken) untersucht. Insgesamt nahmen 50 Teilnehmer an der Studie teil. In der kritischen Situation wurden Fußgängerattrappen in die Fahrbahn gezogen. Dabei wurde versucht, die Dringlichkeit der Reaktion zu variieren. Bei hoher Dringlichkeit erschien die Attrappe kurz vor dem Fahrzeug, bei mittlerer Dringlichkeit in weiterer Entfernung. Bei geringer Dringlichkeit erschien der Fußgänger auf dem Gegenfahrstreifen.

Dabei zeigte sich, dass sich fast alle Teilnehmer für das Bremsen entschieden, auch dann, wenn es

mittels Bremsen nicht mehr möglich war, eine Kollision zu vermeiden. Bei den Reaktionszeiten ergab sich ein deutlicher Effekt der Dringlichkeit der Situation, wobei der Unterschied zwischen hoher und mittlerer Dringlichkeit etwa 0.2 Sekunden betrug und die Bremsreaktionszeit bei schwacher Dringlichkeit nochmal 0.3 Sekunden langsamer war. Der Median der Reaktionszeit lag bei einer geringen Dringlichkeit bei 1.2 Sekunden, bei mittlerer Dringlichkeit bei 0.9 Sekunden und bei hoher bei 0.7 Sekunden. Auch hier betrug die Umsetzzeit etwa 0.2 Sekunden und war weitgehend unabhängig von der Dringlichkeit (zu den Lenkreaktionen, s. u.).

Mehr als 20 Jahre später führten STANCZYK, JURECKI, JASKIEWICZ, WALCZAK & JANCZUR (2011) ebenfalls einen Versuch auf einem Testgelände durch, bei dem sie die Reaktion auf plötzlich erscheinende Fußgängerattrappen untersuchten. Die Fahrer hatten wie bei ZOMOTOR (1987) drei Möglichkeiten zu reagieren: Ausweichen, Bremsen oder Bremsen und Ausweichen. Es wurden 100 Fahrer untersucht, wobei diese eine Zeit von 0.5 bis 3.6 Sekunden Zeit hatten, zu reagieren, um eine Kollision mit dem Fußgänger zu verhindern.

Sie unterschieden mentale Reaktionszeit (Zeit bis zum Verlassen des Fußes vom Gaspedal), psychomotorische Reaktionszeit (Zeit vom Erscheinen des Reizes bis zu Betätigung des Bremspedals), motorische Reaktion (Fußumsetzzeit) hinsichtlich des Bremsverhaltens und psychomotorische Reaktion hinsichtlich des Lenkens (Zeit vom Erscheinen des Reizes bis zum Verreißen des Lenkrads).

In dieser Studie fanden sich Bremsreaktionszeiten zwischen 0.6 und 1.4 Sekunden (für Lenkreaktionszeiten, s. u.). Dabei war die Zeit, die die Fahrer zur Verfügung hatten um eine Kollision zu vermeiden, der wesentliche Einflussfaktor auf die Länge der Reaktionszeit. Dies deckt sich sehr gut mit den Ergebnissen hinsichtlich der Dringlichkeit.

Eine weitere sehr bekannte Untersuchung, die die Bremsreaktionszeiten vor allem für Unfallrekonstruktionen festlegte, ist die Versuchsreihe von BURCKHARDT (1985). Diese Versuchsreihe galt als Bemessungsgrundlage für Bremsreaktionszeiten und wurde beim 20. Deutschen Verkehrsgesichtstag (1982) festgelegt, jedoch erst 1985 von BURCKHARDT veröffentlicht. Bei BURCKHARDT

(1985) wurden in einem Feldversuch auf einer Landstraße 3841 Einzelreaktionen von insgesamt 41 Testfahrern erhoben. Die Experimente waren so aufgebaut, dass zwei Fahrzeuge hintereinander fuhren und das Folgefahrzeug das Bremspedal betätigen musste, wenn die Bremslichter des Vorderfahrzeugs aufleuchteten. In dieser Situation ergaben sich Bremsreaktionszeiten mit einem Median von 0.9 Sekunden. Dabei ist zu beachten, dass dieses Versuchsparadigma nur eine Einfachreaktion widerspiegelt, die gerade für kritische Situationen eher untypisch ist. Hinzu kommt, dass es hier um keine tatsächlich gefährliche unfallrelevante Reaktion handelt, sondern um eine alltägliche Situation im Straßenverkehr, die mit keiner hohen Dringlichkeit einhergeht. Die Versuchspersonen sollten das Bremspedal nur antippen und keine Vollbremsung durchführen.

Auch DERICHS (1998) prüfte in seiner Dissertation nochmals die Daten von BURCKHARDT (1985) und führte eine eigene Experimentreihe durch, um Bremsreaktionszeiten zu untersuchen. Diese war an die Versuche von BURCKHARDT (1985) angelehnt und erfolgte ebenfalls durch eine Folgefahrt mit dem Antippen des Bremspedals, wenn die Bremslichter des Vorderfahrzeugs aufleuchteten. Der Versuch wurde mit 19 Testfahrern durchgeführt, wobei 15 Personen in die endgültige Auswertung eingingen. Die Versuchsstrecke hatte eine Länge von 40 km. Insgesamt konnten 1.226 Messungen erfasst werden. Im Mittel kam DERICHS (1998) zu Reaktionszeiten von 0.8 s, die zwischen 0.2 s (2 % Perzentil) und 2.0 s (98 % Perzentil) lagen.

In Tabelle 1 sind die Ergebnisse der Bremsreaktionszeiten aus den Metaanalysen und beschriebenen Studien kurz zusammengefasst. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Erwartung spielt eine wesentliche Rolle bei den Reaktionszeiten.
- Bremsreaktionszeiten bei hoher Erwartung liegen um 0.7 s. Bei unerwarteten oder wirklich überraschenden Ereignissen steigen diese auf 1 bzw. 1.5 s, wobei einzelne Studien auch längere Reaktionszeiten bis im Mittel 2.5 s finden.

Um diese Einflüsse von Umwelteigenschaften näher zu untersuchen, werden diese im folgenden Kapitel kurz dargestellt.

Autorenschaft	Dokumententyp	N	Reaktionszeitkennwerte
GREEN (2000)	Metaanalyse	-	BRZ erwartet: M = 0.7 s BRZ unerwartet: M = 1.3 s BRZ überraschend: M = 1.5 s
YOUNG & STANTON (2007)	Metaanalyse	-	BRZ Range der Mittelwerte: M = 0.6 s-2.5 s
SOHN & STEPLEMAN (1998)	Metaanalyse	-	BRZ Range der Mittelwerte: M = 0.6 s-1.6 s
ZOMOTOR (1987)	Experiment Teststrecke	50	BRZ Median: Schwache Reaktionsaufforderung: 1.2 s Mittlere Reaktionsaufforderung: 0.9 s Starke Reaktionsaufforderung: 0.7 s
BURCKHARDT (1985)	Experiment Teststrecke	41	BRZ Median = 0.9 s BRZ Perzentile: 0.6 s (2 %)-1.0 s (98 %)
DERICHS (1998)	Experiment Teststrecke	15	BRZ M = 0.8 s BRZ Perzentile: 0.2 s (2 %)-2.0 s (98 %)
STANCZYK, JURECKI, JASKIEWICZ, WALCZAK & JANCZUR (2011)	Experiment Teststrecke	100	BRZ Range der Mittelwerte: M = 0.6 s-1.4 s

Tab. 1: Zusammenfassung der Reaktionszeiten in den Metaanalysen und den beschriebenen Grundlagenstudien (BRZ: Bremsreaktionszeit, Zeit vom Auftreten des Reizes bis zum ersten Bremsdruck)

3.4 Bremsreaktionszeiten bei Untersuchung von Assistenzsystemen

Untersuchungen zu Reaktionszeiten finden sich im Kontext der Überprüfung der Wirkung von Assistenzsystemen, bei denen die Kontrollgruppe oder Kontrollbedingung auf kritische Ereignisse manuell reagiert. Diese wurden für die vorliegende Fragestellung im Folgenden zusammengestellt.

LEE, McGEHEE, BROWN & REYES (2002) untersuchten in zwei Experimenten im Fahrsimulator die Auswirkung von Warnzeiten eines Kollisionswarnsystems auf die Reaktionszeiten abgelenkter und nicht abgelenkter Fahrer. Dafür untersuchten sie insgesamt 140 Personen (Alter: 25-55 Jahre) mittels einer simulierten Folgefahrt, bei der die Fahrer auf Bremsmanöver des Vorderfahrzeugs reagieren mussten. Sie fanden in der Baselinebedingung ohne Systemunterstützung und ohne Ablenkung in Experiment 1 mittlere Bremsreaktionszeiten von 2.5 s und in Experiment 2 von 2.0 s.

ABE & RICHARDSON (2006) untersuchten in einer Fahrsimulatorstudie die Effekte des Alarmzeitpunkts eines Kollisionswarnsystems auf die Reaktionszeiten. Sie verglichen frühe und späte Alarmzeiten bei kürzeren und längeren Abständen zum Vorderfahrzeug und ließen 22 Personen (Alter: 23-61 Jahre) eine Folgefahrt absolvieren. Die Reaktionszeit der Fahrer lag bei kurzen Abständen ohne System bei 1.1 s, bei langen Abständen bei 1.2 s. Dies lässt darauf schließen, dass die Kritika-

lität (kurze Abstände zum Vorderfahrzeug) maßgeblich daran beteiligt ist, wie schnell Fahrer Ihre Reaktionszeit mit einer Unterstützung eines Warnsystems anpassen.

HO, REED & SPENCE (2006) untersuchten die Wirkung einer taktilen Warnung in einem Folgefahrtszenario im Fahrsimulator. Dafür fuhren elf Testfahrer (Alter: 20-39 Jahre) eine Strecke im Fahrsimulator auf einer zweispurigen Landstraße. Vor den Fahrern fuhr ein Vorderfahrzeug, welches in unregelmäßigen Abständen stark bremste. Wurden die Fahrer nicht gewarnt, so lagen die Reaktionszeiten auf die Bremsmanöver des Vorderfahrzeugs im Mittel bei 1.4 s.

FRICKE, de FILLIPIS & THÜRING (2008) untersuchten Bremsreaktionszeiten in unterschiedlichen Fahrsimulatorszenarien, indem sie unterschiedliche Objekte (Fahrrad, Fahrzeug, Hund) durch Elemente in der Fahrsimulation verdeckten (Mauer, Kurve, Lkw, Haus, Regen) und dann die Straße queren ließen. Die Fahrer wurden durch ein Warnsystem (räumliches Geräusch, räumlicher Ton, Ton, Baseline ohne System) unterstützt oder nicht. Insgesamt nahmen 73 Testfahrer (Alter: 18-40 Jahre) an der Studie teil, wobei die Fahrer jeweils alle Szenarien durchfuhren und aber jeweils nur einer Warnbedingung zugeordnet waren. Die Reaktionszeiten ohne Warnungen (Baseline) lagen je nach Situation zwischen 1.5 und 3 s. Hier spielt vermutlich die Erwartung der Fahrer eine Rolle, dass in bestimmten Situationen eher eine Reaktion notwendig sein könnte.

SCOTT & GRAY (2008) prüften verschiedene Warnmodalitäten bei einer Kollisionswarnung. Es nahmen 16 Testfahrer an der Studie teil (Alter: 19-42 Jahre). Die Fahrer mussten auf einer zweispurigen Landstraße fahren und wurden entweder durch eine visuelle, akustische, taktile oder gar keine Warnung in einer ca. 10-minütigen Folgefahrt unterstützt. Innerhalb dieser Strecke zeigte das Vorderfahrzeug 11 abrupte Bremsmanöver. Die Reaktionszeiten ohne Warnungen lagen hier bei 0.9 Sekunden.

MOHEBBI, GRAY & TAN (2009) untersuchten die Reaktionszeit von Fahrern in Abhängigkeit von taktilen und akustischen Kollisionswarnungen, um Auffahrunfälle zu verhindern. Dafür durchfuhren 16 Testfahrer (Alter: 19-49 Jahre) eine zweispurige Landstraße im Fahrsimulator. Das Fahrzenario war eine Folgefahrt, bei der das Vorderfahrzeug immer wieder mit einer Verzögerung von 6 m/s^2 bremste. Zusätzlich waren die Fahrer durch eine kognitive Konversationsaufgabe (Baseline, einfache Aufgabe und komplexe Aufgabe) abgelenkt. Die Fahrer hatten in der Bedingung ohne Ablenkung und ohne Systemunterstützung eine durchschnittliche Reaktionszeit von 0.8 s.

ADELL, VARHELYI & DALLA FONTANA (2011) untersuchten, wie sich das Fahren mit Assistenz auf die Reaktionszeit der Fahrer auswirkt. Das Assistenzsystem warnte den Fahrer in mehreren Aspekten: Wenn ein Geschwindigkeitslimit überschritten wurde, wenn der Abstand zum Vorderfahrer zu knapp war, wenn Fahrer zu schnell in eine Kurve

fuhren oder wenn sich ein Hindernis auf der Fahrbahn befand. Die Warnungen bestanden aus visuellen, haptischen und auditiven Elementen. Sie untersuchten 20 Fahrer (Alter: 18-24 Jahre), wobei diese zweimal jeweils 50 km auf einer Teststrecke im realen Straßenverkehr fuhren. Sie fuhren auf einer Landstraße, im Stadtgebiet und auf der Autobahn und wurden dabei entweder von dem System unterstützt oder nicht. Die Ergebnisse zeigen ohne Systemunterstützung Bremsreaktionszeiten auf Hindernisse von 4.1 s (Autobahn), 3.7 s (Landstraße) und 3.1 s (Stadtgebiet).

MUHRER, REINPRECHT & VOLLRATH (2012) untersuchten die Auswirkungen eines teilautonomen Assistenzsystems, welches die Fahrer über einen zu knappen Abstand zum Vorderfahrzeug informierte, warnte und zuletzt eingriff. Dafür fuhren 30 Testfahrer (Alter: 20-40 Jahre) in einer Folgefahrt durch ein Stadtszenario, die Hälfte davon mit System, die Hälfte ohne System. Im Laufe der Strecke gab es drei unerwartete abrupte Bremsmanöver des Vorderfahrzeugs. In der Bedingung ohne System wurden im Mittel Reaktionszeiten von 1.2 s gefunden.

In Tabelle 2 sind die Ergebnisse der Baselinereaktionen zu den Studien, in denen Assistenzsysteme geprüft wurden, zusammenfassend dargestellt. Werden die Ereignisse erwartet, zeigen sich Bremsreaktionszeiten um 0.8 s. In den anderen Studien sind die Ergebnisse ähnlich wie in den Reviews deutlich länger, wobei Mittelwerte bis zu 4 s auftreten.

Autorenschaft	Setting	N	Reiz, auf den reagiert werden musste	Mittlere (M) Bremsreaktionszeiten ohne Systemunterstützung
LEE et al. (2002)	Simulator	140	Vorderfahrzeug	Experiment 1: M = 2.5 s Experiment 2: M = 2.0 s
ABE & RICHARDSON (2006)	Simulator	22	Vorderfahrzeug	Kurze Abstände: M = 1.1 s Lange Abstände: M = 1.2 s
HO, REED & SPENCE (2006)	Simulator	11	Vorderfahrzeug	M = 1.4 s
FRICKE et al. (2008)	Simulator	73	Plötzliche Ereignisse (Fahrrad, Fahrzeug, Hund)	Range der Mittelwerte: M = 1.5-3.0 s
SCOTT & GRAY (2008)	Simulator	16	Vorderfahrzeug	M = 0.9 s
MOHEBBI, GRAY & TAN (2009)	Simulator	16	Vorderfahrzeug	M = 0.8 s
ADELL, VARHELYI & DALLA FONTANA (2011)	Teststrecke	20	Vorderfahrzeug	Stadtgebiet: M = 3.0 s Landstraße: M = 3.7 s Autobahn: M = 4.1 s
MUHRER, REINPRECHT & VOLLRATH (2012)	Simulator	30	Vorderfahrzeug	M = 1.2 s

Tab. 2: Zusammenfassung der Reaktionszeiten in den Studien ohne und mit Assistenzsystemen

3.5 Bremsreaktionszeiten bei Studien zur Ablenkungswirkung

Untersuchungen zu Reaktionszeiten finden sich weiter im Zusammenhang mit Ablenkung, da vermutet wird, dass durch Ablenkung Reaktionen ausbleiben oder verlangsamt werden, was wiederum die Ursache für Unfälle sein könnte. Dies wird meistens gegen eine Kontrollgruppe ohne Ablenkung geprüft, sodass entsprechende Reaktionszeiten berichtet werden.

LEE, CAVEN, HAAKE & BROWN (2001) untersuchten die Auswirkung eines sprachbasierten Emailsystems in einem Fahrsimulatorexperiment. Es nahmen 24 Fahrer (Alter: 18-24 Jahre) daran teil. Dabei verglichen Sie eine Kontrollbedingung ohne Nebenaufgabe mit den Bedingungen „einfaches Emailsysteem“ und „komplexes Emailsysteem“ in einfachen und komplexen Fahrumgebungen. Die Fahraufgabe bestand darin, einem Vorderfahrzeug zu folgen und auf dessen Bremsmanöver zu reagieren. Die Ergebnisse zeigen, dass die Fahrer ohne Ablenkung in einfachen Fahrumgebungen die geringste Reaktionszeit aufwiesen ($M = 0.8$ s) und bei Fahren mit Ablenkung in komplexen Bedingungen die längste Reaktionszeit ($M = 1.4$ s). Bei Fahren in komplexer Umgebung ohne Ablenkung und in einfacher Umgebung mit Ablenkung liegen die Reaktionszeiten bei 1.2 s.

STRAYER & JOHNSTON (2001) führten ein Experiment im Fahrsimulator durch, bei denen sie die Effekte von Ablenkung durch Telefonieren untersuchten. Es nahmen 48 Teilnehmer (Alter: 18-30 Jahre) an der Studie teil. Neben einer simulierten Fahraufgabe mussten die Fahrer auf zwei Reize reagieren: Bei einem grünen Licht mussten sie weiterfahren, bei einem roten Licht mussten sie so schnell wie möglich einen „Bremsknopf“ drücken. Die Fahrer absolvierten diese Aufgabe einmal ohne Ablenkung und einmal mit einer Konversationsaufgabe am Telefon. STRAYER & JOHNSTON (2001) fanden heraus, dass Fahrer, die telefonierten, Verkehrsinformationen (rotes Licht) eher übersahen, und wenn sie diese sahen, später darauf reagierten. Diese Effekte waren unabhängig davon, ob die Fahrer mit oder ohne Freisprecheinrichtung telefonierten. In einer späteren Studie ($N = 40$; Alter: 18-74 Jahre) fanden (STRAYER & DREWS, 2004) eine Bremszeitverlängerung (Nur Fahren: $M = 0.8$ s, Fahren mit Telefongespräch: $M = 1.0$ s) bei Telefonieren mit Freisprecheinrichtung im Vergleich zu einer Kontrollbedingung, in denen die Fahrer nicht telefonierten.

CONSIGLIO, DRISCOLL, WITTE & BERG (2003) untersuchten 22 Fahrer (18-27 Jahre) in einem einfachen Fahrsimulator, welcher aus Gas- und Bremspedal bestand. Eine rote Lampe vor ihnen sollte die Bremslichter eines Vorderfahrzeugs simulieren. Dabei wurden die Fahrer entweder nicht abgelenkt oder hatten verschiedene Nebenaufgaben zu bewältigen. Die Autoren fanden in der Baselinebedingung eine mittlere Reaktionszeit (Zeit bis Verlassen des Gaspedals) von 0.4 s. Die mittleren Reaktionszeiten der Ablenkungsbedingungen lagen zwischen 0.4 und 0.5 s.

HORREY & WICKENS (2004) untersuchten in ihrer Metaanalyse 16 Studien, die sich mit dem Einfluss von Telefonieren im Fahrzeug auf das Fahrverhalten befassen. Dabei stellten sie fest, dass die größte Beeinträchtigung darin besteht, dass sich die Reaktionszeiten auf kritische, gefährliche Reize verlängern, wobei es unabhängig davon ist, ob Fahrer mit oder ohne Freisprecheinrichtung telefonieren, die kognitive Komponente des Gesprächs also ausschlaggebend ist. Im Schnitt fanden sie Verlängerungen der Reaktionszeit von 0.1 s.

BELLINGER, BUDE, MACHIDA, RICHARDSON & BERG (2009) untersuchten 27 Teilnehmer (Alter: 19-23 Jahre) in einem Fahrsimulator mit und ohne Ablenkung. Die Fahrer hatten die Aufgabe, so schnell wie möglich zu bremsen, wenn eine rote Lampe vor ihnen, die die Bremslichter eines Vorderfahrzeugs simulierte, aufleuchtete. Dabei wurden die Fahrer entweder nicht abgelenkt oder mussten ein Telefongespräch führen. Die Autoren fanden mittlere Bremsreaktionszeiten (Zeitpunkt Aufleuchten bis zum ersten Bremsdruck) von 0.6 s für die Bedingung ohne Ablenkung und 0.7 s für die Bedingung mit Ablenkung.

ENGSTROM, AUST & VISTROM (2010) untersuchten in ihrem Fahrsimulatorexperiment, wie sich kognitive Beanspruchung und ein wiederholtes Durchfahren eines kritischen Szenarios auf die Reaktionszeiten der Fahrer auswirkt. Dafür untersuchten sie 40 Personen (Alter: 26-46 Jahre), die eine Folgefahrt absolvierten, bei der der Vorderfahrer immer wieder abrupte Bremsmanöver zeigte. Dabei musste die Hälfte der Testfahrer zusätzlich eine Rechenaufgabe lösen, die daraus bestand, von einer dreistelligen Zahl in 7er-Schritten rückwärts zu rechnen. Die andere Hälfte der Testfahrer führte eine Baseline-Aufgabe durch, indem sie eine einstellige Zahl wiederholen mussten. Diese Wiederholung fand jedoch nicht unmittelbar bei dem kriti-

schen Bremsmanöver des Vorderfahrzeugs statt. Die untersuchte Bremsreaktionszeit unterteilten sie in eine Gasrücknahmezeit und eine Umsetzzeit. Fahrer, die sich mit der kognitiven Nebenaufgabe beschäftigten, nahmen den Fuß im Durchschnitt 0.2 s später vom Gaspedal als die Fahrer der Kontrollgruppe. Im ersten Durchgang wurden 1.4 s ohne Ablenkung und 1.6 Sekunden mit Ablenkung benötigt. Die Umsetzzeit betrug zwischen 0.7 und 0.8 Sekunden, wobei hier kein deutlicher Effekt der Ablenkung zu finden war. Auch die mehrmalige Wiederholung des Szenarios wirkte sich signifikant auf die Reaktionszeit aus. Vom ersten zum zweiten kritischen Ereignis sank die Gasrücknahmezeit um 0.6 s bei abgelenkten Fahrern und um 0.7 s bei den Fahrern der Kontrollgruppe. Die Umsetzzeit veränderte sich dagegen nicht.

REYES & LEE (2008) beschäftigten sich mit den Einflüssen von kognitiver Beanspruchung auf die Erkennungsleistung von Ereignissen. Sie führten dafür eine Fahrsimulatorstudie durch, bei der Fahrer innerhalb einer Fahrtstrecke von 15 Minuten mit einem sogenannten IVIS – einem „in-vehicle information system“ interagieren mussten oder nicht. Die IVIS-Aufgabe bestand aus einer auditiven Börsenaufgabe, bei der sie das Steigen oder Sinken von Börsenkursen angeben mussten. Die Interaktion erfolgte mit einer „text to speech“-Funktion. Die Fahrer mussten einem Fahrzeug folgen und rechtzeitig reagieren, wenn dieses ein plötzliches Bremsmanöver zeigte. Es wurden insgesamt 12 Fahrer (Alter: 35-55 Jahre) untersucht. In der Studie zeigt sich für die Gasrücknahmezeit in beiden Bedingungen ein Wert von 1.2 s. Für die Bremsreaktionszeit ergaben sich 1.8 s mit IVIS, 1.9 s ohne, wobei dieser Unterschied nicht signifikant war.

HANCOCK, LESCH & SIMMONS (2003) untersuchten die Auswirkung von Ablenkung auf Reaktionszeiten von Fahrern in Abhängigkeit vom Fahreralter. Ältere Fahrer (Alter: 55-65 Jahre) reagier-

ten im Mittel um 0.1 s (Ältere $M = 0.7$ s; Jüngere $M = 0.6$ s) langsamer auf das abrupte Wechseln einer Ampel von Grün auf Rot als Jüngere (Alter: 25-36 Jahre). Es gab auch einen Interaktionseffekt Alter x Ablenkung in der Form, dass die Ablenkung bei den jüngeren Fahrern (ohne Ablenkung $M = 0.5$ s, mit Ablenkung $M = 0.6$ s) zu weniger starken Effekten führten als bei den älteren Fahrern (ohne Ablenkung $M = 0.5$ s, mit Ablenkung $M = 0.8$ s).

MAKISHITA & MATSUNAGA (2008) untersuchten die Effekte von Alter und mentaler Beanspruchung auf Reaktionszeiten von Fahrern. Dabei bildeten sie drei Altersklassen (20-29 Jahre, 41-54 Jahre, 61-64 Jahre) von je 10 Fahrern. Die Autoren untersuchten 5 Bedingungen, in denen die Fahrer auf einen auditiven Reiz reagieren sollten: Im Auto sitzen, im Auto sitzen mit Nebenaufgabe, Fahren ohne Nebenaufgabe, Fahren mit Nebenaufgabe und Fahren auf einer öffentlichen Straße ohne Nebenaufgabe. Die Bremsreaktionszeit ohne Ablenkung lag bei 0.5 s (Jüngere) bzw. 0.6 s (Ältere). Mit Ablenkung wurden Werte von 0.7 (Jüngere) bzw. 1.2 s (Ältere) erreicht.

STRAYER & DREW (2004) (s. o.) untersuchten die Auswirkung von Telefongesprächen auf das Fahrverhalten. Sie untersuchten ebenfalls verschiedene Altersgruppen (Altersschnitt jüngere Fahrer: 20 Jahre, Altersschnitt ältere Fahrer: 70 Jahre). Die Fahrer mussten entweder nur Fahren oder Fahren und nebenbei telefonieren. Die Bremsreaktionszeiten lagen ohne Nebenaufgabe bei den jüngeren Fahrern bei etwa 0.8 s, mit Ablenkung bei 0.9 s. Bei den älteren Fahrern stieg sie von 0.9 s ohne Ablenkungen auf 1.1 s.

Tabelle 3 gibt einen Überblick über die Reaktionszeiten der beschriebenen Studien. Da sich deutliche Unterschiede in Abhängigkeit von der Ablenkung ergaben, werden diese getrennt dargestellt. Auch die Werte älterer und jüngerer Fahrer werden beschrieben.

Autorenschaft	Setting	N	Reiz, auf den reagiert werden musste	Kennwerte ohne Ablenkung	Kennwerte mit Ablenkung
LEE, CAVEN, HAAKE & BROWN (2001)	Simulator, kognitive Ablenkung; E-Mail mit Sprachsteuerung	24	Vorderfahrzeug	BRZ: $M = 0.8$ s-1.2 s	BRZ: $M = 1.2$ s-1.4 s
CONSIGLIO, DRISCOLL, WITTE & BERG (2003)	Simulator, kognitive Ablenkung, Musik, Konversation, Telefon, Freisprecheinrichtung	22	Rote Bremslampe vor den Fahrern	Gasrücknahmezeit: $M = 0.4$ s	Gasrücknahmezeit: Range: 0.4-0.5 s

Tab. 3: Zusammenfassung der Reaktionszeiten in den Studien ohne und mit Ablenkung (BRZ: Bremsreaktionszeit, Zeit vom Auftreten des Reizes bis zum ersten Bremsdruck)

Autorenschaft	Setting	N	Reiz, auf den reagiert werden musste	Kennwerte ohne Ablenkung	Kennwerte mit Ablenkung
STRAYER & DREW (2004)	Simulator, kognitive Ablenkung, Freisprecheinrichtung	40	Vorderfahrzeug	BRZ: M = 0.8 s BRZ Jüngere: M = 0.8 s BRZ Ältere: M = 0.9 s	BRZ: M = 1.0 s BRZ Jüngere: M = 0.9 s BRZ Ältere: M = 1.1 s
BELLINGER, BUDE, MACHIDA, RICHARDSON & BERG (2009)	Simulator, kognitive Ablenkung, Telefon und Musik	27	Rote Bremslampe vor den Fahrern	BRZ: M = 0.6 s	BRZ: M = 0.7 s
ENGSTROM, AUST & VISTROM (2010)	Simulator, kognitive Ablenkung, in 7er Schritten rückwärts zählen	40	Vorderfahrzeug	Gasrücknahmezeit (unerwartet): M = 1.4 s BRZ (unerwartet): M = 2.2 s Gasrücknahmezeit (erwartet): M = 1.0 s BRZ (erwartet): M = 1.7 s	Gasrücknahmezeit (unerwartet): M = 1.6 s BRZ (unerwartet): M = 2.3 s Gasrücknahmezeit (erwartet): M = 1.2 s BRZ (erwartet): M = 1.9 s
REYES & LEE (2008)	Simulator, kognitive Ablenkung, Infotainmentsystem bedienen	12	Vorderfahrzeug	BRZ: 1.9 s Gasrücknahmezeit: M = 1.2 s	BRZ: 1.8 s Gasrücknahmezeit: M = 1.2 s
HANCOCK, LESCH & SIMMONS (2003)	Simulator, visuelle Ablenkung, Telefon bedienen	36	Ampelschaltung	BRZ ohne Ablenkung: Jüngere: M = 0.5 s Ältere: M = 0.5 s	BRZ mit Ablenkung: Jüngere: M = 0.6 s Ältere: M = 0.8 s
MAKISHITA & MATSUNAGA (2008)	Simulator, kognitive Ablenkung, Addition rechnen	30	Auditiver Reiz	BRZ ohne Ablenkung: Jüngere: M = 0.5 s Ältere: M = 0.6 s	BRZ mit Ablenkung: Jüngere: M = 0.7 s Ältere: M = 1.2 s

Tab. 3: Fortsetzung

3.6 Bremsreaktionen und Rahmenbedingungen

In einer Reihe von Studien wurden unterschiedliche Umweltfaktoren (z. B. Straßenverhältnisse, Lichtverhältnisse, Verkehrsdichte, Straßentyp) und Rahmenbedingungen der Studien untersucht.

ECKERT & CARRARO (1993) führten Untersuchungen für unterschiedliche Helligkeitsbedingungen durch. Bei den als „Dresdner Untersuchungen“ bekannten Studien wurden Reaktionszeiten bei Nachtsichtbedingungen und Tageslichtbedingungen verglichen. Die Teilnehmer saßen in einem Fahrtrainer und hatten den rechten Fuß am Bremspedal. Sie mussten auf einen dunkel gekleideten Fußgänger reagieren, der eine unbeleuchtete Straße querte. Die Gasrücknahmezeiten (Erscheinen des Reizes bis zur Wegnahme des Fußes vom Gaspedal) für Nachtsichtbedingungen lagen zwischen 0.8 bis 1.1 s bei geringen Kontrast und 0.7 bis 0.8 s bei maximalem Kontrast. Es wurden eben-

falls Versuche im Fahrsimulator unter Tageslichtbedingungen durchgeführt, bei der die Fahrer auf rote Leuchten mit einer sechsmal höheren Leuchtdichte als normale Bremslichter reagieren mussten. Man fand bei optimalen Lichtbedingungen einen Median der Reaktionszeit von 0.6 s.

CALVI (2007) führte eine experimentelle Untersuchung durch, bei der unterschiedliche Verkehrsdichten und Geschwindigkeiten untersucht wurden. Dabei nahmen 20 Fahrer (Alter: 21-30 Jahre) teil. Es wurde das Bremsverhalten analysiert, das die Fahrer im Folgeverkehr durchführten, um nicht auf das Vorderfahrzeug aufzufahren. Es konnte gezeigt werden, dass die Reaktionszeitparameter mit der Zunahme der Verkehrsdichte und der Abnahme der Geschwindigkeit abnahmen. Für die Gasrücknahmezeit betragen die Werte 1.5 s und 1.1 s, für die Bremsreaktionszeit 2.7 s und 1.1 s. Die vergleichsweise langen Reaktionszeiten im Vergleich zu anderen Experimenten lassen sich möglicherweise durch das Versuchsparadigma er-

klären. Es handelte sich um keine hochgefährlichen Situationen, sondern um alltäglich notwendige Reaktionen, um sicher durch den Verkehr zu kommen.

EDQUIST, RUDIN-BROWN & LENNÉ (2011) untersuchten die Effekte von parkenden Fahrzeugen und der Komplexität des Szenarios auf Geschwindigkeit und Reaktionszeiten. Dafür durchfuhren 29 Fahrer (Alter: 20-53 Jahre) eine Stadtstrecke in einem statischen Fahrsimulator. Ausgewertet wurden die Reaktionszeiten auf einen plötzlich auf die Fahrbahn tretenden Fußgänger, mit und ohne Vorderfahrzeug und bei keinen Parkplätzen (Bedingung 1), leeren Parkplätzen (Bedingung 2) und besetzten Parkplätzen (Bedingung 3). Sie fanden in Bedingung 1 und 2 Reaktionszeiten von ca. 1.1 s. Beim Vorbeifahren an besetzten Parkplätzen (Bedingung 3) gab es einen signifikanten Unterschied in der Reaktionszeit in Abhängigkeit dessen, ob es einen Vorderfahrer gab ($M = 1.5$ s) oder nicht ($M = 1.8$ s). Die Autoren interpretierten dies in der Art, dass Fahrer durch einen Vorderfahrer bereits voraktiviert sind, und so auch schneller auf andere Reize reagieren können.

Nicht nur die Komplexität der Situation, auch die Position eines Ereignisses im Straßennetz hat Einfluss auf die Reaktionszeit der Fahrer. Bei MUHRER, REINPRECHT & VOLLRATH (2012) wurde untersucht, ob Fahrer an Kreuzungen oder geraden Strecken schneller auf Bremsmanöver des Vorderfahrzeugs reagieren. Es konnte gezeigt werden, dass die Reaktion bis zur Betätigung des Bremspedals an einer Kreuzung ($M = 1.0$ s) signifikant schneller war als bei zwei darauffolgenden Geraden ($M = 1.4$ s bzw. $M = 1.3$ s).

Neben unterschiedlichen Umweltbedingungen, die Reaktionszeiten beeinflussen können, scheint auch das Versuchssetting einen Einfluss zu haben. Man vermutet insbesondere, dass die Reaktionen im Fahrsimulator anders ausfallen als in realen Fahrzeugen.

LEE, HOFFMANN, BROWN & McGEHEE (2002) führten eine Studie zu Bremsreaktionszeiten durch, bei denen sie die Reaktionszeiten in einem Fahrsimulator mit denen auf einer Teststrecke verglichen. Ziel war es, herauszufinden, ob Tests für Kollisionsvermeidungssysteme zu Vermeidung von Auffahrunfällen, sogenannten „rear-end collision avoidance systems (RECAS)“ im Simulator durchgeführt werden können und auf das reale Fahrverhalten übertragen werden können. Auf der Test-

strecke folgten die Fahrer einem Vorderfahrzeug, das ein Mock-Up nach sich zog. Insgesamt wurden 3 Blöcke mit je 15 Bremsversuchen gefahren. Dabei gab es pro Block jeweils unterschiedliche Instruktionen: (1) Normal bremsen in Block eins, (2) stärker bremsen in Block zwei und (3) sehr stark bremsen in Block drei. In den Bremsversuchen 1-3 sollten sie auf einen Verkehrsleitkegel reagieren, in den Versuchen 4-6 vor einem stehenden Objekt bremsen und in den Versuchen 7-15 in der Folgefahrt bremsen. In der Simulatorstrecke war die Aufgabe einem Fahrzeug zu folgen und bei Verzögerung des Vorderfahrzeugs entweder normal oder stark zu bremsen. Dies fand bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten und bei einer unterschiedlich starken Verzögerung des Vorderfahrzeugs statt. Dabei war ein Abstand von 1.7 Sekunden war fix eingestellt. Jeder Fahrer absolvierte 5 Bremsversuche. Es nahmen 16 Fahrer im Alter zwischen 25 und 55 Jahren teil. Es zeigt sich, dass das Bremsverhalten in beiden Versuchssettings bis auf wenige Ausnahmen sehr vergleichbar war. Der größte Unterschied war, dass Fahrer im Simulator abrupter verzögerten und größere Sicherheitsabstände hielten. Ein weiterer Unterschied war, dass man im Simulator keine Abhängigkeiten des Bremsverhaltens von den Instruktionen fand, diese jedoch auf der Teststrecke festgestellt werden konnten. Die Autoren erklärten sich dies mit den fehlenden vestibulären Reizen im Simulatorszenario und einem unnatürlichen Vorderfahrzeug auf der Teststrecke.

Auch McGEHEE, MAZZAE & BALDWIN (2000) stellten einen Vergleich zwischen Simulator und Teststrecke an. In einer Simulatorstudie untersuchten sie 60 Fahrer (Alter: 25-55 Jahre), auf der Teststrecke 192 Fahrer (Alter: 25-55 Jahre). Im Simulator mussten die Fahrer auf ein Ereignis an einer Kreuzung reagieren, auf der Teststrecke auf einen Schaumstoffwürfel. Die Autoren untersuchten die Gasrücknahmezeit, und fanden im Simulator Werte von 1.0 s, eine auf der Teststrecke von 1.3 s. Die Zeit bis zum maximalen Bremsdruck lag im Simulator bei 2.2 s, auf der Teststrecke bei 2.3 s. Die unterschiedlichen Reaktionszeiten könnten auf die Unterschiedlichkeit der Szenariogestaltung im Simulator und auf der Teststrecke zurückzuführen sein.

In Tabelle 4 wird ein Überblick über die beschriebenen Studien gegeben. Die Reihenfolge orientiert sich an der Reihenfolge des vorangegangenen Textes.

Autorenschaft	Setting	N	Reiz, auf den reagiert werden musste	Kennwerte
ECKERT & CARRARO (1993)	Simulator	-	Fußgänger, der Fahrbahn plötzlich quert	Gasrücknahmezeit: Tageslicht: Median = 0.6 s Dunkelheit: M = 0.8 s-1.1 s (geringer Kontrast) M = 0.7 s-0.8 s (starker Kontrast)
CALVI (2007)	Simulator	20	Vorderfahrzeug	Gasrücknahmezeit: Geringe Verkehrsdichte: M = 1.5 s Hohe Verkehrsdichte: M = 1.1 s
EDQUIST, RUDIN-BROWN & LENNÉ (2011)	Simulator	29	Fußgänger, der Fahrbahn plötzlich quert	BRZ: Ohne, leere Parkplätze: M = 1.1 s Besetzte Parkplätze: Ohne Vorderfahrzeug: M = 1.5 s Mit Vorderzeug: M = 1.8 s
MUHRER, REINPRECHT & VOLLRATH (2012)	Simulator	30	Vorderfahrzeug	BRZ: Kreuzung: M = 1.0 s Gerade1: M = 1.4 s Gerade2: M = 1.3 s
McGEHEE, MAZZAE & BALDWIN (2000)	Simulator & Teststrecke	60 192	Kreuzungsereignis Schaumstoffwürfel	Zeit bis Verlassen des Gaspedals: Simulator: 1.0 s Teststrecke: 1.3 s

Tab. 4: Zusammenfassung der Reaktionszeiten in den Studien zur Wirkung von Situationsfaktoren (BRZ: Bremsreaktionszeit, Zeit vom Auftreten des Reizes bis zum ersten Bremsdruck)

3.7 Lenkreaktionszeiten

Prinzipiell kann man von einer etwas schnelleren Reaktionszeit beim Lenken als beim Bremsen ausgehen (SACHER 1998, in BOSCH, 2007). Dies liegt daran, dass der Fahrer beim Lenken keine Umsetzzeit hat, bevor er zu lenken beginnt. Während Studien zu Bremsreaktionszeiten unter verschiedenen Bedingungen relativ häufig sind, gibt es kaum Untersuchungen zu Lenkreaktionszeiten. Es sind zwar einige Untersuchungen zu Reaktionszeiten bei Fahrstreifenwechseln (z. B. HOFMANN, RINKENAUER & GUDE, 2010) oder für Spurverlassenswarner (z. B. BERUSCHA, WANG, AUGSBURG & WANDKE, 2010; SUZUKI & JANSSON, 2003) zu finden, jedoch kaum in kritischen Situationen, wo eine starke und schnelle Lenkbewegung einen Unfall verhindern könnte.

In der oben dargestellten Studie von ZOMOTOR (1987) wurden Fußgängerattrappen in die Fahrbahn gezogen. Dabei wurde versucht, die Dringlichkeit der Reaktion zu variieren. Wenn Lenkreaktionen auftraten, waren diese entweder gleich schnell oder teilweise sogar langsamer als die Bremsreaktionszeiten. Dies war auch der Fall, wenn gleichzeitig gelenkt und gebremst wurde. Allerdings sind diese Reaktionszeiten angesichts der wenigen Fälle mit Vorsicht zu betrachten. Die Auto-

ren führten die Verlängerung beim Lenken darauf zurück, dass die Fahrer beim Lenkeingriff zusätzlich entscheiden müssen, wie stark und in welche Richtung sie einlenken müssen, um eine Kollision zu vermeiden.

In der oben dargestellten Studie von STANCZYK et al. (2011) wurden bei den Versuchen auf einem Testgelände mit Fußgängerattrappen auch Ausweichreaktionen untersucht. Dabei zeigten sich Lenkreaktionszeiten zwischen 0.6 und 1.6 Sekunden.

In der oben dargestellten Studie von McGEHEE, MAZZAE & BALDWIN (2000) wurde der Vergleich zwischen Simulator und Teststrecke auch für Lenkreaktionen durchgeführt. Die Zeit bis zur ersten Lenkreaktion lag im Simulator bei 1.6 s, auf der Teststrecke bei 1.7 s.

Eine ältere Studie zur Lenkreaktion ist von SUMMALA (1981). Dort wurden Lenkreaktionen untersucht, wenn am Straßenrand Fahrzeuge plötzlich geöffnet wurden. Das Ausweichmanöver begann im Mittel nach einer Reaktionszeit von 2.5 s (Range 1.5 s-4.0 s).

Die Ergebnisse dieser Studien sind zusammenfassend in Tabelle 5 dargestellt.

Studie	Setting	N	Relevanter Reiz	Lenkreaktionszeit
STANCZYK, JURECKI, JASKIEWICZ, WALCZAK & JANCZUR (2011)	Teststrecke	100	Fußgängerattrappen	Lenkreaktionszeit Range der Mittelwerte: M = 0.6 s-1.6 s
ZOMOTOR (1987)	Experiment Teststrecke	50		Schwache Reaktionsaufforderung: M = 1.3 s
McGEHEE, MAZZAE & BALDWIN (2000)	Simulator & Teststrecke	60 192	Kreuzungsereignis Schaumstoffwürfel	Simulator: M = 1.6 s Teststrecke: M = 1.7 s
SUMMALA (1981)	Realverkehr	1.326	Plötzliches Öffnen der Tür eines parkenden Fahrzeugs	M = 2.5 s Range: 1.5-4.0 s

Tab. 5: Zusammenfassung der Reaktionszeiten in den Studien zu Lenkreaktionen

3.8 Zusammenfassung Reaktionszeiten

Insgesamt liefert der Literaturüberblick ein recht konsistentes Bild von Brems- und Lenkreaktionszeiten bei kritischen Ereignissen. Die wesentlichen Punkte sind wie folgt zusammenzufassen:

- Wie von der Art der Reaktion her zu erwarten ist, sind Lenkreaktionszeiten etwas schneller als Bremsreaktionszeiten, weil die Umsetzzeit (vom Gaspedal auf die Bremse) entfällt. Der Unterschied entspricht aber nicht den typischen Umsetzzeiten. Möglicherweise sind Lenkreaktionen komplexer und benötigen längere Zeit für die Handlungsvorbereitung. Aber auch die Gestaltung der Situation (z. B. eine andere Grundgeschwindigkeit oder Kritikalität) kann hier eine Rolle spielen.
- Bei den Bremsreaktionen ist die Bremsreaktionszeit als Zeit vom Auftauchen des Reizes bis zum Beginn der Betätigung der Bremse eine sinnvolle Beschreibung der Fahrerreaktion, da ab diesem Zeitpunkt das Fahrzeug reagieren kann. Methodisch macht es Sinn, zwischen Gasrücknahmezeit und Umsetzzeit zu unterscheiden, da sich die verschiedenen Einflussfaktoren vor allem auf die Gasrücknahmezeit und weniger auf die Umsetzzeit auswirken. Psychologisch ist das damit zu erklären, dass diese Einflussfaktoren für die Erkennung der relevanten Reize und die Handlungsplanung wichtig sind und damit zeitlich vor dem Beginn der Reaktion liegen.
- Die Erwartung der Fahrer, reagieren zu müssen, spielt eine entscheidende Rolle für die Reaktionszeiten. Bremsreaktionszeiten bei hoher Erwartung liegen um 0.7 s. Bei unerwarteten oder wirklich überraschenden Ereignissen steigen diese auf 1.0 bzw. 1.5 s, wobei einzelne Studien auch längere Reaktionszeiten über 2.5 s finden.
- Weiter erscheint die Dringlichkeit der Reaktion eine Rolle zu spielen, wobei vermutlich die Grundgeschwindigkeit, aber auch die möglichen Konsequenzen wichtig sind. Hier finden sich Unterschiede um 0.2 bis 0.3 s.
- Eine Ablenkung der Fahrer führt teilweise zu einer Verlängerung von Reaktionszeiten in der Größenordnung von 0.2 bis 0.3 s. Teilweise werden aber auch, gerade bei kognitiver Ablenkung, keine Veränderungen berichtet. Bei visueller Ablenkung werden die Reize teilweise übersehen oder zu spät gesehen.
- Einzelne Studien berichten den Einfluss unterschiedlicher Rahmenbedingungen. Schlechte Sichtverhältnisse verzögern die Wahrnehmung und Erkennung der relevanten Reize. In komplexen Situationen ist die Reaktion verlangsamt und auch die Erwartung, dass in dieser Situation etwas passieren könnte, scheint eine Rolle zu spielen. Hier liegen aber bislang zu wenige Studien vor, um diese Einflüsse systematisch beschreiben zu können.

Damit liegen einerseits eine ganze Reihe von Informationen über Reaktionszeiten bei kritischen Situa-

tionen und deren Einflussfaktoren vor. Allerdings stammen diese aus ganz unterschiedlichen Studien, deren Ziele teilweise sehr unterschiedlich waren. Von da her erscheint es sinnvoll, Brems- und Lenkreaktionen in typischen kritischen Situationen systematisch zu untersuchen und dabei relevante Einflussfaktoren zu berücksichtigen. Dies kann als Basis für die Definition standardisierter Prüfsituationen dienen, in denen verschiedene Einflussfaktoren und auch die Wirkung von Informations- und Warnsystemen in vergleichbarer Weise geprüft wird. Das folgende Kapitel fasst die entsprechenden Überlegungen für die eigene experimentelle Umsetzung zusammen.

4 Schlussfolgerungen für die experimentelle Umsetzung

Aus der Literaturrecherche und den theoretischen Überlegungen ergeben sich Hinweise für die Gestaltung der einzelnen Szenarien zur Erfassung der Reaktionszeiten. Schon die einführende Darstellung von unterschiedlichen Reaktionszeiten machte deutlich, dass für eine solche Messung eine klare Definition der Reize und Reaktionen erforderlich ist. Dabei sollten vor allem die Situationen gewählt werden, die unter dem Aspekt der Verkehrssicherheit relevant sind. Hier bietet sich die Berücksichtigung von Unfällen an, bei denen zu langsame Reaktionen eine wesentliche Rolle für die Unfallentstehung spielten. Unfallanalysen zeigen, dass dies Situationen sind, in denen eine Kollision mit einem anderen Objekt bevorsteht, die durch eine Brems- oder Lenkreaktion vermieden werden soll. Typisch ist für diese Situationen weiter, dass das Objekt entweder plötzlich auftaucht oder ein vorhandenes Vorderfahrzeug plötzlich verzögert, was eine unmittelbare Reaktion notwendig macht. Bei Verkehrsunfällen findet man entsprechende Konstellationen entweder in Situationen, in denen plötzlich ein sehr langsames oder stationäres Objekt auf der Fahrbahn erscheint (stehendes Fahrzeug an Kreuzungen, Fußgänger oder Radfahrer, die die Fahrbahn betreten usw.) oder wenn bei einer Folgefahrt das vordere Fahrzeug plötzlich abbremst. Nicht betrachtet werden dagegen Kollisionen an Kreuzungen, bei denen zum Beispiel die Aufmerksamkeit falsch ausgerichtet ist und deshalb andere Verkehrsteilnehmer übersehen werden, das Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer falsch eingeschätzt wird usw., da hier die Probleme nicht im Bereich schneller Reaktionen liegen.

Im Vordergrund stehen demnach zeitkritische Szenarien, in denen keine Möglichkeit für eine bewusste Abwägung unterschiedlicher Handlungsalternativen besteht, sondern in denen unmittelbar klar ist, dass eine schnelle und starke Reaktion erforderlich ist. In dieser Art von Szenarien stehen dem Fahrer grundsätzlich zwei Reaktionen zur Unfallvermeidung zur Verfügung: Lenken und/oder Bremsen. Es handelt sich demnach zunächst um eine relativ einfache Wahlreaktion, wobei je nach Situation die Entscheidung mehr oder weniger schwierig sein kann. Welche Reaktion der Fahrer letztendlich zeigt und wie die Kennwerte dieser Reaktion ausgeprägt sind, wird in einer konkreten Situation maßgeblich von den Fragen bestimmt, wie viel Zeit dem Fahrer bis zur Kollision bleibt und wie viel Platz der Fahrer für die Reaktion hat. Erscheint ein Objekt zu nahe vor dem eigenen Fahrzeug, so ist eine Kollision nur durch Ausweichen zu verhindern. Dies ist allerdings nur möglich, wenn entsprechende Freiräume bestehen, also ein freier Seitenstreifen oder ein Gegenfahrstreifen ohne entgegenkommende Fahrzeuge. Durch die Manipulation dieser beiden Aspekte sollte sich damit die Wahrscheinlichkeit für eine Brems- oder Lenkreaktion verändern lassen. Entsprechend dieser situativen Einflussfaktoren wurden drei Szenarien für die Situation des plötzlich auftauchenden Hindernisses umgesetzt, um die entsprechenden Kennwerte der unterschiedlichen Reaktionen zu bestimmen.

- Reines Bremsmanöver: Plötzliches Erscheinen eines Hindernisses in einer Entfernung, sodass eine Vollbremsung noch möglich ist und wo ein Ausweichen durch die Situation erschwert wird.
- Reines Lenkmanöver: Plötzliches Erscheinen eines Hindernisses in einer Entfernung, sodass nur ein Ausweichmanöver möglich ist (mit entsprechendem Raum zum Ausweichen).
- Kombiniertes Brems-/Lenkmanöver: Plötzliches Erscheinen eines Hindernisses in einer Entfernung, sodass eine Vollbremsung noch möglich ist und wo ein Ausweichen ebenso möglich ist wie beim reinen Lenkeingriff.

Diese Situationen bilden die Basisszenarien, zwischen denen die Fahrerreaktionen verglichen werden sollen. Zusätzlich wird ein Folgefahrtszenario realisiert, in welchem das vorrausfahrende Fahrzeug abrupt bremst und der Testfahrer keinen Platz zum Ausweichen hat, also eine Kollision nur mit einer Bremsung verhindern kann.

Eine solche Erstellung und Manipulation von Szenarien ist im Fahrsimulator sehr gut möglich. Allerdings finden sich bei systematischen Vergleichen Unterschiede zum Verhalten in realen Fahrzeugen (s. o.). Um diese abzuschätzen, werden die Basis-szenarien neben dem Fahrsimulator auch in einem realen Fahrzeug untersucht. Hier musste allerdings auf die Folgefahrt verzichtet werden, da sie nur mit hohem technischem Aufwand ohne Gefahr für Fahrer und Fahrzeug darzustellen ist. Durch den Vergleich der Ergebnisse im Simulator und Realfahrzeug für die Basisszenarien ist aber eine Abschätzung möglich, welchen Einfluss die Versuchsumgebung des Simulators auf die relevanten Kennwerte der Fahrerreaktion hat.

Zur besseren Lesbarkeit werden für die Szenarien folgende Abkürzungen eingeführt:

- B Szenario, welches nur ein Bremsmanöver erlaubt,
- L Szenario, welches nur ein Lenkmanöver erlaubt,
- BL Szenario, welches sowohl ein Bremsmanöver als auch ein Lenkmanöver erlaubt,
- FF Szenario, welches während einer Folgefahrt nur ein Bremsmanöver erlaubt.

Um den Einfluss globaler Situationsparameter zu bewerten, wurden die vier Szenarien sowohl im Kontext einer Stadtfahrt umgesetzt, als auch im Kontext einer Landstraßen- und Autobahnfahrt. Zum einen kann so der Einfluss der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf die Auswahl des Fahrmanövers in der kritischen Situation bewertet werden. Zum anderen unterscheiden sich die Kontexte auch durch ihre generelle Reizstruktur. Die Fahrt in der Stadt ist geprägt von relativ hohem Verkehrsaufkommen, parkenden Autos und Fußgängern am Straßenrand und einer starken Bebauung. Die Landstraßenfahrt ist eher monoton und reizarm und der Umgebungsverkehr spielt bei der Fahraufgabe eine untergeordnete Rolle. Die Autobahnfahrt stellt darüber hinaus mit mehreren in eine Richtung verlaufenden Fahrstreifen eine weitere besondere Fahrumgebung dar. Aufgrund der höheren Geschwindigkeiten auf der Landstraße und der Autobahn und den oben erwähnten Sicherheitsaspekten wurden diese beiden Kontexte ausschließlich im Simulator untersucht und nicht im Realversuch.

In Ergänzung zu den Einflüssen der Fahrumgebung sollen die Einflüsse des Fahrerzustandes bewertet

werden. Zum einen wird sich vermutlich die Erwartungshaltung des Fahrers nach längerer Fahrt und wiederholt eintretenden kritischen Ereignissen ändern. Um einen möglicherweise auftretenden Effekt der Erwartung auf das tatsächlich Fahrverhalten zu bewerten, wurden die Versuchspläne der einzelnen Studien so ausgelegt, dass eine Abbildung des Verlaufs der Reaktionen über die Situationen hinweg möglich ist. Außerdem fuhr ein Teil der Fahrer mit einer Nebenaufgabe, um den Einfluss einer kognitiven Ablenkung auf das Fahrverhalten zu bewerten.

5 Methode

Alle vier Studien, d. h. sowohl der Realversuch als auch die drei Simulatorversuche, wurden auf eine möglichst große Vergleichbarkeit ausgelegt. Im Realversuch lag ein starker Fokus auf der Nachbildung der relevanten Kontextbedingungen aus dem Stadtversuch im Simulator. Der grundlegende Versuchsaufbau in den drei Simulatorstudien ist der gleiche und auch der Versuchsplan unterscheidet sich nur geringfügig. Daher werden die Inhalte, die sich spezifisch auf den Simulator beziehen, ausführlich im Rahmen der ersten Studie (Stadt-kontext) beschrieben und die Beschreibung der Landstraßen- und Autobahnstudie auf die wesentlichen Unterschiede zur Stadtstudie reduziert. Der Realversuch wird aufgrund des unterschiedlichen Aufbaus gesondert beschrieben.

5.1 Fahrsimulatorstudien

5.1.1 Versuchsplan

Ziel ist es, den Einfluss verschiedener Situations- und Personenparameter auf die Reaktionen der Fahrer in zeitkritischen Situationen im Kontext einer Stadtfahrt, einer Landstraßenfahrt und eine Autobahnfahrt zu untersuchen. Dabei werden drei Szenarien ohne Führungsfahrzeug dargestellt, bei denen plötzliche Hindernisse in einer Weise auftauchen, dass die Fahrer entweder nur durch eine Bremsung eine Kollision vermeiden können (B), nur durch ein Lenkmanöver (L) oder durch beide Reaktionen (BL). Weiter wird eine Folgefahrt mit plötzlicher Bremsung des Vorderfahrzeugs so gestaltet, dass eine Kollision nur durch eine Bremsung zu vermeiden ist (FF). Jede Versuchsperson durchfährt jede der kritischen Situationen vier Mal (insgesamt 16 Ereignisse), um einerseits eine genauere

Schätzung der relevanten Kennwerte zu erhalten und andererseits den Einfluss der Erwartung nach wiederholt auftretenden Ereignissen zu beurteilen. Zuvor fährt jede Person eine separate Strecke, in der nur ein einzelnes kritisches Szenario enthalten ist, um eine erwartungsfreie Erstreaktion zu erhalten. In dieser ersten, separaten Strecke wird jeder Person zufällig eines der drei Szenarien B, L oder BL zugewiesen. Auf eine Untersuchung der Folgefahrt wurde bei der Erstreaktion verzichtet, da dies einerseits den Aufwand beträchtlich erhöht hätte, andererseits dieses Szenario von der Art der Reaktion her (nur Bremsung möglich) mit dem Szenario B vergleichbar sein müsste. Zusätzlich wird die Hälfte der Versuchspersonen während dieser ersten Fahrt durch eine Nebenaufgabe abgelenkt. Der Versuchsplan ist schematisch in Tabelle 6 dargestellt.

Das Fahrerverhalten wird über Fahrzeug- und Fahrerstellgrößen beschrieben, die während der Fahrt aufgezeichnet wurden. Zusätzlich kamen Fragebögen zur Selbsteinschätzung der Situation und der eigenen Leistung zum Einsatz. Außerdem wurden im Rahmen des Stadtversuchs Blickdaten der Fahrer aufgezeichnet, um Zusammenhänge zwischen visueller Aufmerksamkeit und Reaktionen zu untersuchen. Ebenfalls bei diesem Versuch wurde eine Reaktionszeitmessung mit dem Wiener Testsystem durchgeführt, um Zusammenhänge zur generellen Reaktionsfähigkeit zu prüfen.

Der Versuchsplan im Landstraßen- und Autobahnversuch wurde analog zur Stadtfahrt gestaltet. Zugunsten einer kürzeren Durchführungszeit wurde der Messzeitpunkt T4 (siehe Tabelle 6) bei der Landstraßen- und Autobahnfahrt nicht umgesetzt, da relevante Erwartungseffekte im ersten Versuch hauptsächlich zu Beginn der Fahrt auftraten.

5.1.2 Stichprobe

Die Versuchspersonen wurden zum überwiegenden Teil über einen E-Mail-Verteiler der TU Braunschweig und durch persönliche Ansprache von Studierenden akquiriert. Um die Varianz aufgrund von eventuell auftretenden Alterseffekten gering zu halten, wurde eine hinsichtlich des Alters homogene Stichprobe erhoben. Die Kriterien für die Teilnahme an der Studie waren neben dem Führerscheinbesitz ein Alter zwischen 20 und 40 Jahren. In diesem Altersbereich ist von den physiologischen Faktoren her mit den schnellsten Reaktionen zu rechnen, sodass die hier erhobenen Ergebnisse als hinsichtlich des Alters optimale Reaktionszeiten zu betrachten sind. Die Personen wurden zufällig den Versuchsbedingungen zugewiesen und vom Alter her ausbalanciert. Je nach Dauer des Versuchs wurden sie mit bis zu 40,- Euro oder alternativ mit bis zu 4 Versuchspersonenstunden (Studienleistung) vergütet. Die Vergütung wurde pro angefangene halbe Stunde berechnet.

Um die Ergebnisse aus dem Simulator (Stadtfahrt) mit denen der Realfahrt besser vergleichen zu können, nahm ein Teil der Personen an beiden Fahrten teil. Von den insgesamt 46 Personen fuhren 14 sowohl im Simulator als auch im Realversuch (Tabelle 7). Die Reihenfolge der Teilnahme wurde ausbalanciert, sodass acht Personen erst am Simulatorversuch teilnahmen und anschließend am Realversuch und die verbleibenden sechs Personen mit dem Realversuch begannen. Von den 32 Personen, die nur im Simulator fuhren, hatten 18 während der ersten Fahrt eine Nebenaufgabe bearbeitet. Die 14 anderen fuhren ohne Ablenkung.

Insgesamt begannen 51 Personen die Studie. Fünf Personen brachen die Fahrt aufgrund von Übelkeit

		Zeitpunkt					
		T0		T1	T2	T3	T4
		Ablenkung					
		Ohne	Mit				
Szenario	B						
	L						
	BL						
	FF						

Tab. 6: Schematische Darstellung des Versuchsplans im Simulator bei der Stadtfahrt. Die vier Szenarien sind Situationen, in denen nur Bremsen (B), nur Lenken (L) oder beides (BL) eine Kollision verhindern kann. Das letzte Szenario FF ist eine Folgefahrt. Der Messzeitpunkt T4 wurde nur in der simulierten Stadtfahrt umgesetzt

	B	L	BL	Σ	
Ohne Ablenkung	4	5	5	14	Nur Simulator
	3 ^a 2 ^b	2 ^a 2 ^b	3 ^a 2 ^b	14	Simulator und Real
Mit Ablenkung	6	6	6	18	Nur Simulator
				46	
^a Zuerst Simulatorfahrt, dann Realfahrt ^b Zuerst Realfahrt, dann Simulatorfahrt					

Tab. 7: Versuchsplan und Anzahl der Versuchspersonen der ersten Stadtstrecke

ab, sodass nur 46 Personen an der Studie teilnahmen und in die Auswertung gingen. 19 dieser Personen waren weiblich (41.3 %). Das Alter in der Stichprobe reichte von 20 bis 40 Jahre ($M = 26.0$ Jahre, $SD = 4.7$ Jahre). Im Schnitt waren die Personen 8.3 Jahre im Besitz ihres Führerscheins ($SD = 4.4$ Jahre). 42.2 % der Fahrer gab an, maximal 3.000 km jährlich zu fahren. Weitere 20.0 % liegen bei einer Fahrleistung zwischen 3.000 bis 9.000 km jährlich. 33.3 % der Personen gaben an, zwischen 9.000 und 20.000 km pro Jahr mit dem Auto zurückzulegen. Die verbleibenden 4.4 % liegen bei einer Fahrleistung von über 20.000 km pro Jahr. Es handelt sich bei der Stichprobe demnach zu einem großen Teil um Wenigfahrer.

Landstraße und Autobahn

Bei der Erhebung der Stichproben für den Landstraßen- und Autobahnversuch wurden die gleichen Kriterien wie in dem Stadtversuch verwendet, um eine möglichst große Vergleichbarkeit zwischen den Studien sicherzustellen. Da die Zeitpunkte und die Art der kritischen Ereignisse in den einzelnen Versuchen nicht vorhersagbar waren, konnten auch Personen teilnehmen, die bereits an einem früheren Versuch teilgenommen haben. Insgesamt nahmen 21 Personen an mehreren Versuchen teil (Stadt & Landstraße: 3, Stadt & Autobahn: 1, Landstraße & Autobahn: 14, Stadt & Landstraße & Autobahn: 3). Es nahmen 42 bzw. 43 Personen an den Versuchen teil, sodass im Schnitt jedes Szenario von etwa 14 Personen ohne Erwartungshaltung durchfahren wurde, wobei die eine Hälfte in der Bedingung mit Nebenaufgabe fuhr und die andere in der Bedingung ohne Nebenaufgabe. Die genaue Verteilung der Probanden auf die Bedingungen ist Tabelle 8 zu entnehmen.

	Landstraße			Autobahn		
	B	L	BL	B	L	BL
Ohne Ablenkung	7	7	7	7	7	7
Mit Ablenkung	8	6	7	8	7	7
Σ	15	13	14	15	14	14

Tab. 8: Versuchsplan und Anzahl der Versuchspersonen der ersten Strecke im Landstraßen- und Autobahnversuch

Insgesamt begannen 42 Personen den Landstraßenversuch. Es gab keinen Dropout durch Simulatorübelkeit. Die Hälfte der Teilnehmer war weiblich. Das Alter in der Stichprobe reichte von 20 bis 39 Jahre ($M = 26.9$ Jahre, $SD = 5.7$ Jahre). Im Schnitt waren die Personen 8.1 Jahre im Besitz ihres Führerscheins ($SD = 5.5$ Jahre). Die Hälfte der Fahrer gab an, maximal 3.000 km jährlich zu fahren. Weitere 19.0 % liegen bei einer Fahrleistung zwischen 3.000 bis 9.000 km jährlich. 23.8 % der Personen gaben an, zwischen 9.000 und 20.000 km pro Jahr mit dem Auto zurückzulegen. Die verbleibenden 7.2 % liegen bei einer Fahrleistung von über 20.000 km pro Jahr.

Den Autobahnversuch begannen insgesamt 43 Personen. Auch hier gab es keinen Dropout durch Simulatorübelkeit. 24 Personen (55.8 %) waren weiblich. Das Alter in der Stichprobe reichte von 20 bis 37 Jahre ($M = 25.4$ Jahre, $SD = 5.2$ Jahre). Im Schnitt waren die Personen 6.4 Jahre im Besitz ihres Führerscheins ($SD = 4.8$ Jahre). 53.5 % der Fahrer gab an, maximal 3.000 km jährlich zu fahren. Weitere 14.0 % liegen bei einer Fahrleistung zwischen 3.000 bis 9.000 km jährlich. 25.6 % der Personen gaben an, zwischen 9.000 und 20.000 km pro Jahr mit dem Auto zurückzulegen. Die verbleibenden 7.0 % liegen bei einer Fahrleistung von über 20.000 km pro Jahr.

Damit sind die Stichproben hinsichtlich ihrer Alters- und Geschlechterverteilung sowie ihrer Fahrerfahrung sehr ähnlich.

5.1.3 Material

Fahrsimulator

Alle simulierten Fahrversuche wurden unter gleichen Bedingungen im Simulator des Lehrstuhls für Ingenieur- und Verkehrspsychologie an der Technischen Universität Braunschweig durchgeführt. Es handelt sich um eine stationäre Fahrer-



Bild 3: Statischer Fahrsimulator der Ingenieur- und Verkehrspsychologie und Testfahrerin mit aufgesetztem Blicksystem (links)

kabine bestehend aus Fahrer- und Beifahrersitz (s. Bild 3). Innen- und Außenspiegel werden durch drei 7"-Displays mit einer Auflösung von 1.280 x 768 Pixel realisiert. Zwei weitere Displays sind zur Anzeige der Instrumente hinter dem Lenkrad verbaut. Die simulierte Fahrumgebung wird durch drei Beamer mit jeweils einer Auflösung von 1.400 x 1050 Pixel dargestellt. Die drei Leinwände sind jeweils etwa 2 x 2 m groß und umschließen etwa 180° des Sichtfeldes des Fahrers. Der Sound wird in Stereo über zwei Lautsprecher wiedergegeben. Es sind drei Pedale und ein Schalthebel vorhanden. Während der Versuche wurde aber ein Automatikgetriebe simuliert. Die Fahrzeugdynamik wurde der eines 5er BMW nachempfunden und die Fahrumgebung wurde mit der Simulationssoftware SILAB 3.0 (WIVW GmbH) dargestellt. Die Fahrerkabine steht in einem verdunkelten Raum, dessen Tür während des Versuches geschlossen ist. Der Versuchsleiter kann die Fahrt über sechs Monitore von außen mitverfolgen. Die Kommunikation mit dem Fahrer wird über eine Gegensprechanlage ermöglicht.

Zur Bewertung des Fahrverhaltens wurden Fahrergrößen wie die Stellung des Gaspedals und des Bremspedals, sowie der Lenkradwinkel und die Lenkradwinkelgeschwindigkeit aufgezeichnet. Um die tatsächlichen Reaktionen des Fahrzeugs nachzuvollziehen und eventuelle Unterschiede zum realen Fahrzeugverhalten festzustellen, wurden auch Fahrzeuggrößen wie die Geschwindigkeit, Längs- und Querschleunigung und die Gierrate aufgezeichnet. Außerdem wurden aus der Simulationsumgebung Größen wie die Distanz vom Ego-Fahrzeug zum Fußgänger oder die Zeit bis zur Kollision (TTC) abgeleitet.

Versuchsstrecke und kritische Ereignisse – Stadt

Die Versuchsstrecke stellt eine relativ realitätsnahe Stadtumgebung dar. Die Bebauung ist einer Innenstadt nachempfunden und besteht aus ein- bis vierstöckigen Häusern und Objekten wie Litfasssäulen und Bäumen. Die Fahrbahnränder sind meist von Fußwegen begrenzt, teilweise aber auch von Parkbuchten, Parkplätzen oder Grünflächen. Der Fahrer fährt stets auf einer Vorfahrtsstraße mit einer Breite von 3.5 m und einem meist geraden bis leicht kurvigen Verlauf. Auf zu kleine Kurvenradien wurde zur Verminderung von Simulator-Übelkeit verzichtet. Die Geschwindigkeitsbegrenzung liegt bei 50 km/h und die Personen wurden instruiert, diese Geschwindigkeit nicht zu über- oder unterschreiten. In regelmäßigen Abständen durchfährt der Fahrer Einbahnstraßen, deren Fahrbahnränder teilweise oder ganz durch parkende Autos oder Leitpfosten begrenzt sind. Stellenweise sind Kreuzungen (ohne Ampeln) vorhanden, an denen Fahrzeuge kreuzen und ein- oder abbiegen können. Andere Verkehrsteilnehmer gibt es in der Form von Passanten auf den angrenzenden Fußwegen, Gegenverkehr auf dem linken Fahrstreifen und vorrausfahrenden Fahrzeugen auf dem eigenen Fahrstreifen.

Alle kritischen Ereignisse finden auf einem der Einbahnstraßenabschnitte statt (siehe Bild 4). Der Straßenverlauf ist hier immer gerade und die Fahrbahnbegrenzung wird entsprechend des Szenarios variiert. Das plötzliche Ereignis besteht in einem Fußgänger, der von rechts oder links aus einer Reihe parkender Autos hervortritt und die Straße überquert (Ausnahme: Szenario FF). Der Fußgänger steht zu Beginn etwa 75 cm vom Fahrbahnrand entfernt und wird dabei von einem der



Bild 4: Screenshots des kritischen Ereignisses im Simulator aus der Fahrerperspektive (links) und der Vogelperspektive (rechts)

Parameter	Szenarien			
	B	L	BL	FF
Abstand zum Fußgänger bzw. Vorderfahrzeug bei kritischem Ereignis	25 m	20 m	23 m	18 m
Raum zum Ausweichen	nein	ja	ja	nein
Geschwindigkeit des Fußgängers bzw. Vorderfahrzeug	2 m/s			50 km/h (synchron zum Egofahrzeug)
Abstand des Fußgängers zum Fahrbahnrand	0.75 m			-
Geschwindigkeitsvorgabe für Egofahrzeug	50 km/h			
Fahrstreifenbreite	3.5 m			

Tab. 9: Parameter der Szenarien im Stadtversuch

parkenden Autos verdeckt, sodass er für den Fahrer erst nach dem Loslaufen sichtbar wird. Der Fußgänger läuft immer mit einer konstanten Geschwindigkeit von 2 m/s zur Mitte des Fahrstreifens, bleibt etwa 1.8 Sekunden stehen und läuft weiter, um die Straße zu verlassen. Je nach Szenario läuft der Fußgänger in einem Abstand von 25, 20 oder 23 m zum Egofahrzeug los (siehe Tabelle 9). Die Abstände wurden in Vorversuchen so ermittelt, dass die Situationen unmittelbar eine schnelle und starke Reaktion hervorrufen, aber trotzdem noch für den Fahrer zu bewältigen sind. Die entsprechenden Eckdaten dieser Szenarien sind in Tabelle 9 dargestellt.

Im Szenario FF folgt der Fahrer einem zuvor eingebogenen Auto, das im Verlauf der Einbahnstraße plötzlich bremst. Das Vorderfahrzeug regelt sich dabei in etwa auf die Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs ein und verzögert in dem Moment, wo die Fahrzeuge 18 m voneinander entfernt sind mit -9 m/s^2 bis zum Stillstand. Anschließend setzt es die Fahrt fort und biegt am Ende der Einbahnstraße ab. Die jeweiligen Werte von Abstand und Geschwindigkeit des Vorderfahrzeugs wurden ebenfalls in Vorversuchen ermittelt. Bild 6 zeigt eine

schematische Darstellung der kritischen Ereignisse aller Szenarien.

Die kritischen Ereignisse wurden auf zwei getrennten Strecken realisiert. Die erste Strecke besteht aus etwa 20 Minuten Fahrt, bei der nur ein einzelnes Ereignis zum Ende der Fahrt eintritt. Dieses Ereignis ist immer ein plötzlich auftauchender Fußgänger, das heißt, für jeden Fahrer wird in der Strecke 1 nur eines der drei Szenarien B, L oder BL umgesetzt.

Die zweite Strecke besteht aus etwa 60 Minuten Fahrt. Im Verlauf dieser Fahrt treten insgesamt 16 kritische Ereignisse ein, jeweils vier in jedem Szenariotyp. Die Richtung, aus der die Fußgänger kommen, ist über die Ereignisse hinweg ausgeglichen, sodass der Fußgänger sechsmal von rechts und sechsmal von links kommt. Die Reihenfolge der Ereignisse ist so gestaltet, dass ein Block aus vier aufeinander folgenden Ereignissen immer alle vier Szenariotypen abdeckt. Die relative Reihenfolge der Ereignisse bleibt dabei in jedem Block gleich, wobei das Starterereignis immer ein anderes ist. Zwischen jedem kritischen Ereignis liegen Abschnitte mit neutraler Fahrt. Die Abschnitte variieren in der Länge

zwischen ein bis drei Minuten, um die kritischen Ereignisse schwerer vorhersagbar zu machen.

Versuchsstrecke und kritische Ereignisse – Landstraße

Die Strecke des zweiten Versuches stellt eine ruhig befahrene Landstraße dar. Es ist teilweise Bebauung in Form von Siedlungen mit Häusergruppen vorhanden. Die Fahrbahnränder sind überwiegend von Alleebepflanzung, Wäldern oder Agrarflächen begrenzt. Der Fahrer fährt stets auf dem rechten Fahrstreifen mit einer Breite von 3.5 m und einem geraden bis leicht kurvigen Verlauf bei leichtem Gefälle (max. $\pm 1.5\%$). Die Geschwindigkeitsbegrenzung liegt bei 100 km/h und die Personen wurden instruiert, diese Geschwindigkeit nicht zu über- oder unterschreiten. Der entgegenkommende Fahrstreifen wurde von zufällig generiertem Gegenverkehr befahren (etwa 4-12 Autos pro Minute). Hin und wieder wird der Fahrer von einem Fahrzeug überholt, analog zum Szenario FF. Abgesehen von den kritischen Ereignissen gibt es auf dem eigenen Fahrstreifen sonst keine anderen Verkehrsteilnehmer.

Alle kritischen Ereignisse finden auf einem geraden Streckenabschnitt ohne Gefälle statt (vgl. Bild 5, links). Die genaue Position wird zufällig bestimmt, sodass zwischen den Ereignissen 1-7 km (gleichverteilt) liegen können. Je nach Szenario ist der eigene Fahrstreifen rechts durch Leitplanken und links durch Gegenverkehr begrenzt (nur B und FF). Das kritische Ereignis besteht in einem plötzlich auftauchendem Vorderfahrzeug, das den Fahrstreifen blockiert (Ausnahme: Szenario FF). Im Unterschied zu den Ereignissen im Stadtversuch er-

scheinen die Hindernisse also und treten nicht aus einer Verdeckung hervor. Diese Umsetzung wurde gewählt, weil sich bei der Landstraße im Gegensatz zur Stadtstrecke keine unauffälligen Objekte zur vorübergehenden Verdeckung des Hindernisses am Straßenrand platzieren lassen. Bei Landstraßen stehen nur sehr selten Objekte am direkten Straßenrand. Daher wäre ein kritisches Hindernis dahinter nicht zu verstecken, ohne dass das „versteckende Objekt“ schon die Aufmerksamkeit auf sich zieht. Durch ein plötzlich auftauchendes Hindernis auf dem eigenen Fahrstreifen wird sichergestellt, dass alle Fahrer auf die gleiche Reizsituation reagieren. Je nach Szenario taucht das Hindernis in einem anderen Abstand zum Egofahrzeug auf, analog zur Stadtstrecke. Im Gegensatz zur Stadtstrecke wurden die Ereignisse nicht anhand des räumlichen Abstandes zum Hindernis ausgelöst, sondern anhand des momentanen Bremsweges des Egofahrzeugs. Somit wurde die Eigengeschwindigkeit berücksichtigt. Die Grenzwerte für die Ereignissteuerung wurden in Vorversuchen so ermittelt, dass die Situationen unmittelbar eine schnelle und starke Reaktion hervorrufen, aber trotzdem noch für den Fahrer zu bewältigen sind. In den Szenarien B, BL und FF kann ein Unfall verhindert werden, wenn innerhalb von einer Sekunde nach Erscheinen des Hindernisses eine Vollbremsung durchgeführt wird. Im Szenario L wurde dieser Wert auf eine halbe Sekunde gekürzt, sodass bei den üblichen Reaktionszeiten ein Zusammenstoß mit dem Hindernis durch eine reine Bremsung nicht verhindert werden kann.

Im Szenario FF wird der Fahrer von einem Fahrzeug überholt, das sich von hinten nähert und anschließend wieder einschert und sich entfernt.

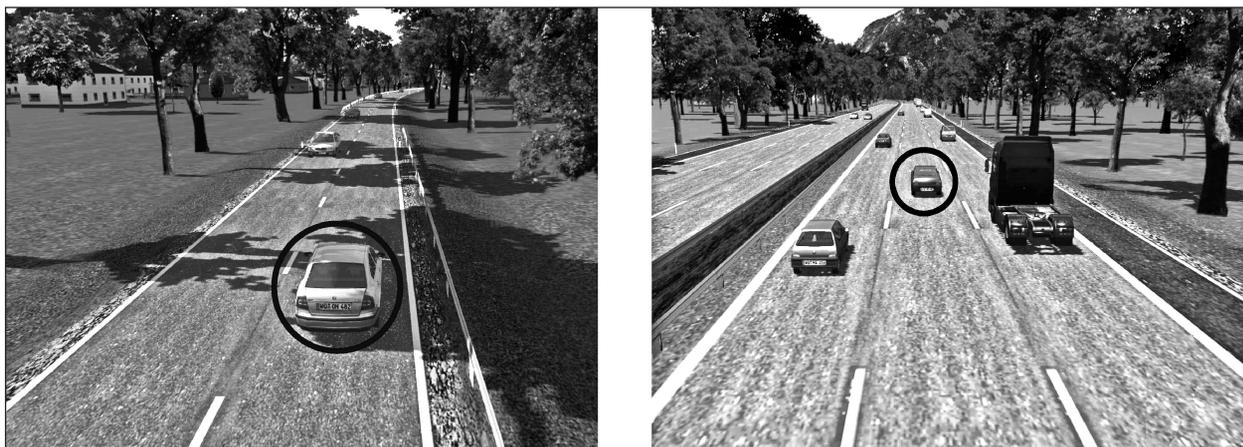


Bild 5: Screenshots der kritischen Ereignisse in Szenario B (stehendes Fahrzeug blockiert den Fahrstreifen) im simuliertem Landstraßen- (links) und Autobahnversuch (rechts)

Nach dem Einscheren führt das Fahrzeug eine Vollbremsung durch, sobald der kritische Abstand überschritten wird (analog zu B und BL). Damit ist Szenario FF von der Reizkonstellation identisch zu B mit dem einzigen Unterschied, dass es im Gegensatz zu B vorher ein Stück Folgefahrt gibt. Im Verlauf der Strecke wird der Fahrer häufiger überholt, ohne dass es zu einer kritischen Situation kommt, um die Erwartungshaltung zu vermindern. Eine Übersicht über die Umsetzung aller

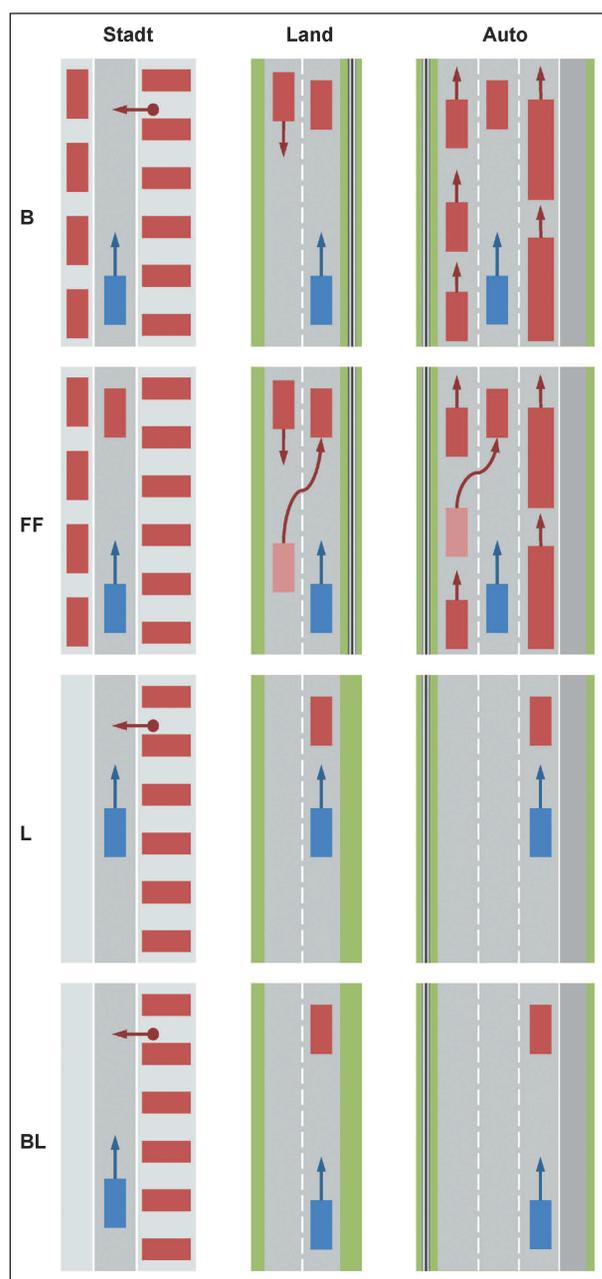


Bild 6: Dargestellt sind die in den drei Versuchen umgesetzten Szenarien. Jeweils blau dargestellt ist das Ego-Fahrzeug. Andere Verkehrsteilnehmer sind als Rechtecke (Fahrzeuge) und Punkte (Fußgänger) dargestellt. Die Abstände zu den jeweiligen Hindernissen sind nicht maßstabsgerecht abgebildet

kritischen Ereignisse im Vergleich wird im Bild 6 gegeben.

Analog zum Stadtversuch wurden die kritischen Ereignisse auf zwei getrennten Strecken realisiert. Die erste Strecke enthält ebenfalls nur ein Ereignis, entweder des Typs B, L oder BL, dass nach 15 Minuten Fahrt eintritt. Die zweite Strecke besteht aus etwa 50 Minuten Fahrt. Im Verlauf dieser Fahrt sind wie im Stadtversuch alle Szenarien umgesetzt und werden jeweils dreimal durchfahren. Die Reihenfolge der Ereignisse ist so gestaltet, dass ein Block aus vier aufeinander folgenden Ereignissen immer alle Szenariotypen abdeckt. Die genaue Reihenfolge der Ereignisse innerhalb der drei Blöcke wurde im Vorfeld randomisiert und bleibt für alle Personen gleich. Allerdings bekommt jede Person zufällig einen der drei Blöcke als Startpunkt zugewiesen.

Versuchsstrecke und kritische Ereignisse – Autobahn

Die Autobahn entspricht in der Bebauung und im Verlauf in weiten Teilen der Landstraße. Die Länge der Strecke und die Kurvenradien sind auf die höhere Geschwindigkeit angepasst. Es gibt drei Fahrstreifen mit jeweils einer Breite von 3.75 m und einen Standstreifen mit einer Breite von 2.5 m. Die Gegenfahrbahn ist durch Leitplanken und Heckenbepflanzung von der eigenen Fahrbahn getrennt. Die Gegenfahrbahn wird unregelmäßig wechselnd von leichtem (nur Pkw) oder dichtem Gegenverkehr (Lkw und Pkw) befahren. Die Geschwindigkeitsbegrenzung liegt bei 130 km/h und die Personen wurden instruiert, diese Geschwindigkeit nicht zu über- oder unterschreiten. Außerdem sollten sie immer auf dem rechten Fahrstreifen fahren, es sei denn sie mussten, um die Geschwindigkeit zu halten, einen langsam vorrausfahrenden Pkw oder Lkw überholen.

Die kritischen Ereignisse sind analog zur Landstraße umgesetzt (vgl. Bild 5 rechts und Bild 6). Die Ereignisse in den Szenarien L und BL finden auf dem rechten Fahrstreifen statt, sodass nach links auf den mittleren Fahrstreifen oder nach rechts auf den Standstreifen ausgewichen werden kann. In den Szenarien B und FF muss der Fahrer eine Kolonne langsamer Pkw und Lkw überholen und auf den mittleren Fahrstreifen wechseln, um die Geschwindigkeit zu halten. Dort wird der Fahrer wiederum von mehreren schnellen Fahrzeugen überholt, sodass der eigene Fahrstreifen sowohl links als auch rechts begrenzt ist. Einige der überholenden Fahr-

zeuge scheren vor dem Fahrer ein und eines davon führt im Szenario FF eine Vollbremsung durch, analog zur Landstraße. Die Dauer der Fahrt und die Reihenfolge der Bedingungen sind zum Landstraßenversuch identisch.

Nebenaufgabe

Ein Teil der Personen führte während der Fahrt auf der ersten Strecke im Simulator eine Nebenaufgabe durch, um so zu überprüfen, ob kognitive Ablenkung durch das Wirken auf das Arbeitsgedächtnis die Ausbildung des Situationsbewusstseins negativ beeinflusst. Wenn dies der Fall ist, sollte dem Fahrer in der Entscheidungsreaktion weniger präsent sein, ob ihm beispielsweise Ausweichraum zu Verfügung steht oder nicht und könnte damit unter Umständen zu weniger angepassten oder späteren Reaktionen führen. Da hier die Beeinflussung mentaler Prozesse im Vordergrund steht und nicht das Herbeiführen einer reinen visuellen Ablenkung, wird eine kognitive Nebenaufgabe gewählt. Dadurch ist sichergestellt, dass der Fahrer nach vorne schaut und das kritische Ereignis zu demselben Zeitpunkt bemerken kann, wie die nicht-abgelenkten Fahrer. Die Frage ist dann, um welche Dauer sich die Reaktionszeit dadurch verlängert, dass der Fahrer mental von der Nebenaufgabe auf die Hauptaufgabe wechseln muss. Die Personen wurden zu diesem Zweck instruiert, von einer vorgegebenen Zahl aus in 7er-Schritten laut rückwärts zu zählen. Die Zahlen wurden durch Schilder vorgegeben, die am Straßenrand standen. Das Vorgehen war in allen Simulatorstudien das gleiche.

Training

Vor jedem Simulatorversuch erhielt jede Person eine etwa 20-minütige Übungsfahrt auf einer Landstraße, um sich an den Umgang mit dem Simulator und dessen Fahrdynamik, insbesondere die fehlende Bewegung des Simulators, zu gewöhnen. Die Fahrumgebung wurde während der Übungsfahrt zunehmend komplexer. Zu Beginn gab es keine Objekte am Straßenrand und der Straßenverlauf war überwiegend gerade und ohne Gefälle. Zum Ende der Fahrt war die Straße von Vegetation und Häusern gesäumt und die Landschaft hatte ein ausgeprägtes Höhenprofil. Die Straße enthielt zunehmend engere Kurvenradien sowie stärkere Gefälle und die Geschwindigkeitsvorgaben wechselten häufiger.

Zusätzlich fand ein spezifisches Manövertraining statt, das aus drei kurzen Strecken bestand. Auf der

ersten Strecke mussten die Personen einen Slalom-Parcours absolvieren, um vertrauter mit starken Lenkmanövern im Simulator zu werden. Analog sollten die Personen auf der zweiten Strecke des Manövertrainings Notbremsungen durchführen, um ein Gefühl für den Bremsweg des simulierten Fahrzeugs zu bekommen. Auf der dritten Strecke sollten die Personen den Zusammenstoß mit einem plötzlich erscheinenden Hindernis verhindern und dabei eigenständig entscheiden, wie sie reagieren. Gegenüber den Personen wurde diese Fahrt als erweiterte Trainingsfahrt instruiert, um sie auch in schwierigeren Fahrsituationen mit dem Fahrsimulator vertraut zu machen.

Blickerfassung

Während der zweiten Strecke des Stadtversuches wurde das Blicksystem Dikablis (Ergoneers GmbH) verwendet, um die Blickrichtung des Fahrers während des Versuches zu erfassen. Das System besteht aus einem leichten brillenartigen Gestell, auf dem zwei Kameras montiert sind (siehe Bild 3, rechts). Eine Kamera zeichnet die Bewegungen des linken Auges auf. Die zweite Kamera ist in Blickrichtung des Fahrers gerichtet und zeichnet ein weitwinkliges Bild der Umgebung auf. Dabei werden spezielle Marker im Sichtfeld der Versuchsperson platziert, die bei späteren Analysen die Möglichkeit bieten, die Kopfbewegungen nachzuverfolgen. Die aufgezeichneten Videodateien haben eine Auflösung von 768 x 576 Pixel (Umgebungs-kamera) und 384 x 288 Pixel (Augenkamera) bei einer Bildrate von 25 Hz.

Wiener Testsystem

Da der Literaturüberblick zeigte, dass die Eigenschaften der Person die Reaktionszeiten beeinflussen können, wurde im Rahmen des Stadtversuches das Wiener Testsystem (WTS, Schuhfried GmbH) genutzt, um die Beziehung zwischen der allgemeinen Reaktionsfähigkeit und der Reaktionsfähigkeit in den hier dargestellten kritischen Situationen im Straßenverkehr zu untersuchen. Das Wiener Testsystem besteht aus über 100 Tests zur psychologischen Diagnostik. Im Rahmen der ersten Studie nahmen alle Personen am Determinationstest (DT) und am Reaktionstest (RT) des WTS teil. Der DT wurde in der Version S1 durchgeführt. Dabei hörten die Personen in unregelmäßigen Abständen einen Ton und mussten dann möglichst schnell eine korrespondierende Taste drücken. Die Reizdarbietung passt sich dabei adaptiv der Leistung an.

Der RT wurde in der Version S3 durchgeführt. Hierbei wurden auf dem Bildschirm Farben vorgegeben, deren zugehörige Tasten die Personen dann möglichst schnell drücken mussten. Weiterhin gab es zwei Pedale, die getreten werden mussten, wenn das jeweilige Feld auf dem Bildschirm markiert wurde. Zudem gab es zwei Töne (hoch und tief), bei denen jeweils eine vorgegebene Taste gedrückt werden musste. Alle drei Aufgaben wurden einzeln eingeführt und in einem Testdurchlauf trainiert. Anschließend begann der eigentliche Versuch, bei dem alle Aufgaben parallel ausgeführt wurden.

Fragebögen

Die Personen füllten vor und während jedes Versuchs verschiedene Fragebögen aus. Im Vorfeld machten sie Angaben zu demographischen Daten, Erfahrung mit Simulationen, Fahrleistung und Fahrstil sowie zu ihrer momentanen Müdigkeit und Befindlichkeit. Der Fragebogen zur Befindlichkeit wurde im Verlauf des Versuchs mehrmals ausgefüllt und enthielt Fragen zur momentanen Anspannung, Aktiviertheit, Stimmung und Leistungsfähigkeit.

Nach jeder Fahrt gaben die Personen auf einem kurzen Fragebogen an, wie gut sie gefahren waren, wie anstrengend die Fahrt war und wie wohl sie sich während der Fahrt gefühlt hatten. Falls die Personen in der Gruppe mit Nebenaufgabe waren, gaben sie zusätzlich an, wie gut sie die Nebenaufgabe erfüllt und als wie ablenkend sie diese empfunden hatten.

Zusätzlich zu dem kurzen Fragebogen machten die Personen ausführliche Angaben darüber, wie kritisch sie die Situation(en) fanden, als wie gut und realistisch sie ihre eigene Reaktion einschätzten und ob sie mit dem kritischen Ereignis gerechnet

hatten. Falls die Personen in der Gruppe mit Nebenaufgabe waren, gaben sie zusätzlich an, ob sie im Moment des kritischen Ereignisses abgelenkt waren und ob ihre Reaktion dadurch beeinflusst worden war.

Abschließend füllten die Personen einen Fragebogen zur Messung von Sensation Seeking (NISS; ROTH & HAMMELSTEIN, 2012) aus. Der Fragebogen besteht aus 17 Items und misst das Bedürfnis nach neuen und intensiven Erlebnissen. Da dies mit der globalen Aktivierung zusammenhängt, könnte vermutet werden, dass dies die Reaktionszeiten beeinflusst.

5.1.4 Ablauf

Die Durchführung des Stadtversuches fand an zwei getrennten Tagen statt. Der Ablauf der beiden Termine ist in Tabelle 10 dargestellt. Am ersten Tag wurden die Personen über den allgemeinen Ablauf des Versuches informiert und füllten Fragebögen zu demographischen Daten und Fahrgewohnheiten aus. Nachdem jede Person den Sitz des Simulators auf die eigenen Gewohnheiten angepasst hatte, absolvierte sie die Übungsfahrt und das manöverspezifische Training. Abschließend fuhren sie die Strecke 1, auf der nur ein kritisches Ereignis stattfand. Zuvor wurden sie zur Fahraufgabe und gegebenenfalls zur Nebenaufgabe instruiert. Sie sollten auf der ganzen Strecke eine Geschwindigkeit von 50 km/h halten und sich gemäß der StVO verhalten. Zudem sollten sie möglichst wie im realen Straßenverkehr fahren und dabei keine vorausfahrenden Fahrzeuge überholen. An Kreuzungen hatten sie stets Vorfahrt und sollten immer geradeaus dem Straßenverlauf folgen. Die Personen, die in der Gruppe mit Nebenaufgabe fuhren, wurden angewiesen, beim Passieren eines Hinweisschildes von der darauf stehenden Zahl an in 7er-Schritten rückwärts zu zählen.

1. Termin				2. Termin	
20 Min	10 Min	20 Min Strecke 1		60 Min Strecke 2	25 Min
Übungsfahrt Fahrsimulator	Spezifisches Manövertraining	Ohne Ablenkung	1 x B (9 VP)	4 Szenarien je 4 mal = 16 Situationen (46 VP)	Durchführung des Determinationstests und des Reaktionstests
			1 x L (9 VP)		
			1 x BL (10 VP)		
		Mit Ablenkung	1 x B (6 VP)		
			1 x L (6 VP)		
			1 x BL (6 VP)		

Tab. 10: Versuchsablauf der zwei Termine (VP Versuchspersonen)

Zwischen den Fahrten füllten die Personen Fragebögen zur eigenen Befindlichkeit und zur Selbsteinschätzung ihrer Fahrleistung aus und machten gegebenenfalls Angaben zur Nebenaufgabe.

Der zweite Termin lag mindestens einen Tag und maximal eine Woche von der ersten Fahrt auseinander und bestand hauptsächlich aus der Fahrt auf der Strecke 2. Zu Beginn fand eine kurze Eingewöhnungsfahrt statt und das System zur Blickerfassung wurde kalibriert. Im Anschluss an die Fahrt füllten die Personen wieder die Fragebögen zur eigenen Befindlichkeit und zur Selbsteinschätzung ihrer Fahrleistung aus. Abschließend führten sie den Determinationstest und den Reaktionstest des Wiener Testsystems durch und erhielten zum Schluss ihre Vergütung.

Landstraße und Autobahn

Aufgrund des Wegfalls von Wiener Testsystem und der Blickdatenerhebung bestanden die Versuche zur Landstraße und Autobahn nur aus einem Termin. Der allgemeine Ablauf, die Fragebögen und die Instruktionen waren analog zum Stadtversuch gestaltet. Die Instruktionen zu den Geschwindigkeitsbegrenzungen wurden angepasst und beim Autobahnversuch wurde das Rechtsfahrgebot gesondert betont (ggf. auch während der Trainingsfahrt).

5.2 Nachgestellte Stadtfahrt im Realversuch

Zur Ermittlung von Referenzgrößen in der Realfahrt wurden die definierten Basisszenarien (B, L, BL) in einem Versuchsaufbau nachgebildet. Die Rahmenbedingungen des Versuchsdesigns wurden dabei in Anlehnung an die Simulatorstudie definiert, um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse aus Realfahrt und Simulator gewährleisten zu können.

5.2.1 Versuchsplan

Die Fahrversuche wurden auf einem Testgelände unter Ausschluss des öffentlichen Straßenverkehrs durchgeführt. Dies sollte optimale Versuchsbedingungen und eine reproduzierbare Versuchsdurchführung garantieren. Die Probanden durchführten die zeitkritischen Situationen in der definierten Reihenfolge B → L → BL. Diese Festlegung war aus technischen Gründen bezogen auf die Versuchsdurchführung notwendig.

Im Vorfeld der eigentlichen Versuche absolvierte jede Person einen definierten Fahrdynamik-Parcours, um sich mit dem Versuchsfahrzeug und dem Übertragungsverhalten zwischen Fahrereingriffen (Bremsen, Lenken) und Fahrzeugreaktionen (Längs- und Querbewegung) vertraut zu machen (Tabelle 11).

Etwa die Hälfte der Versuchspersonen nahm nach den Realfahrten an der Fahrsimulatorstudie teil, die andere Hälfte vor den Realfahrten (vgl. auch Kapitel 5.1.2 und Tabelle 7). Dabei wurde versucht, über eine Coverstory Erwartungen hinsichtlich der Intention und der Zusammenhänge der beiden Versuchsreihen zu vermeiden.

Im Realversuch wurde unabhängig davon ein Storyboard vorgegeben, um auch hier die Erwartungshaltung zu minimieren. Auf diese Weise erschien das kritische Ereignis mindestens im jeweils ersten Versuchslauf (B) unerwartet auf der Fahrbahn. Die Fahrer wurden dahingehend instruiert, dass es sich bei der Studie um „Sensorpermancetests“ handelt, im Rahmen derer mit konstanter Geschwindigkeit auf ein am Ende der Fahrbahn platziertes Objekt zuzufahren sei. Somit wurde eine Blickabwendung von der Fahrbahn und ggf. in Richtung des Versuchsaufbaus vermieden, die definierten Rahmenbedingungen hinsichtlich Aus-

Versuchstage 1 und 2			
Schritt 1	Schritt 2		
Spezifisches Fahrzeug- und Manövertraining	Versuchspersonen (Real – Sim)	1 x B (2 VP)	3 Szenarien je 1mal = 3 Situationen (14 VP)
		1 x L (2 VP)	
		1 x BL (2 VP)	
	Versuchspersonen (Sim – Real)	1 x B (3 VP)	
		1 x L (2 VP)	
		1 x BL (3 VP)	

Tab. 11: Versuchsablauf der zwei Termine (VP Versuchspersonen)

gangsgeschwindigkeit und Fahrtrajektorie hingegen bestmöglich eingehalten.

Neben der Aufzeichnung aller relevanten Messdaten aus dem Fahrzeug und der Fußgänger-Steuerung wurde nach jedem abgeschlossenen Versuchsdurchlauf eine Subjektive Bewertung mithilfe eines szenariospezifischen Fragebogens durchgeführt. Sowohl der Proband als auch der Beifahrer beantworteten schriftlich zuvor abgestimmte Fragen, anhand derer erfasst wurde, wie zeitkritisch und realistisch die Insassen die Fahrsituation erlebt hatten sowie in welcher Art und wie gut auf das Hindernis reagiert worden war. Mit den Antworten sollte anschließend geprüft werden, ob Erwartungshaltungen oder andere versuchs- oder probandenbedingte Faktoren einen Einfluss auf ermittelte Kennparameter ausgeübt haben.

5.2.2 Stichprobe

Für die Fahrversuche wurde ein hinsichtlich des Alters homogener Probandenpool mit durchschnittlicher Fahrpraxis zusammengestellt. Bei den Fahrern handelte es sich um Studenten des Maschinenbaus bzw. der Fachrichtung Kraftfahrzeugtechnik. Während, wie in Kapitel 5.1.2 beschrieben, acht Personen bereits im Vorfeld an den Simulatorfahrten teilnahmen, absolvierten weitere sechs Probanden diese erst im Nachgang an die Realversuche. Grundsätzlich lag bei allen Teilnehmern keine Vorkenntnis und somit keine Erwartungshaltung hinsichtlich der Intention der Realversuche vor. Auf eine Ablenkung der Probanden wurde im Rahmen dieser Fahrversuche aus Sicherheitsgründen verzichtet.

Der Probandenpool setzte sich somit aus 14 Fahrern zusammen (3 weiblich, 11 männlich). Ihr durchschnittliches Alter betrug $M = 23.9$ Jahre, wobei es von 23 bis 26 Jahren reichte ($SD = 1.0$ Jahre). Die Fahrer waren zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung seit mindestens 4 Jahren im Besitz eines Führerscheins ($M = 6.5$ Jahre, $SD = 1.6$ Jahre). 35.7 % der Probanden gaben an, maximal 3.000 km jährlich zu fahren. 28.6 % der Fahrer liegt bei einer jährlichen Fahrleistung von 3.000 km bis 9.000 km. Die übrigen 35.7 % legen zwischen 9.000 und 20.000 km im Jahr zurück. Viele der Fahrer können aufgrund ihrer Fahrleistung somit als Wenigfahrer eingestuft werden. Keiner der Fahrer wies einen besonders ausgeprägt schonenden oder sportlichen Fahrstil auf.

5.2.3 Material

Experimentalfahrzeug

Als Versuchsfahrzeug wurde ein VW Passat B6 des Institutes für Fahrzeugtechnik mit DSG-Getriebe eingesetzt. Zum Schutz des Frontbereiches bei möglichen Kollisionen mit dem Fußgängertarget wurde ein anklammerbarer Frontschutz aus Schaumstoff entwickelt (siehe Bild 7, links). Das als TEASY (Testing & Engineering of Automotive Systems) bezeichnete Fahrzeug wurde mit umfangreicher Messtechnik ausgestattet, sodass über Messrechner eine große Anzahl von Daten aus dem Fahrzeug-CAN, aus einem Kreiselsensor und aus einem GPS-Empfänger aufgezeichnet werden konnten. Zusätzlich wurde das Gesicht des Fahrers mit einer versteckten Kamera während der Fahrt gefilmt (siehe Bild 7, rechts).



Bild 7: Versuchsfahrzeug mit Frontschutz (links) und versteckter Kamera (rechts)

Versuchsstrecke und -aufbau

Die Realversuche fanden an zwei aufeinander folgenden Tagen auf einer Versuchsstrecke am Euro-Speedway Lausitz, dem DEKRA Automobil Test Center, statt. Ausgewählt wurde ein durch das Geländeprofil sichtgeschützter Bereich der Teststrecke, sodass die wartenden Versuchspersonen die Testfahrt nicht beobachten konnten. Der gesamte Aufbau wurde nach den Vorgaben der in Kapitel 5.1.3 beschriebenen Szenarien zunächst im Rahmen von Vorversuchen entworfen, spezifiziert und getestet.

Der finale Aufbau wurde auf einer asphaltierten, geraden Fahrbahn von ca. 12 m Breite und ca. 250 m Länge installiert. Er sah vor, dass die Probanden vor dem Hintergrund der erwähnten „Sensorperformancetests“ mit einer vorgegebenen Geschwindigkeit von 50 km/h mittig entlang eines Fahrkorridors auf ein am Ende der Versuchsstrecke stehendes Crashmodell in Form eines Golf VI Fahrzeughecks zufuhren.

Die Fahrscenarien wurden dabei durch die Variation des Ausweichraums (b) und die Distanz zum Hindernis (x) dargestellt (siehe Bild 8). Für das Szenario B wurde in Fahrtrichtung rechts von der Fahrbahnmitte ein 3,5 m breiter und ca. 50 m langer Fahrstreifen mit Leitschwellen und Sicherheitsbaken gebildet. Eine Strecke von ca. 100 m vor dem Fahrkorridor diente zum Einstellen der geforderten Ausgangsgeschwindigkeit von 50 km/h. Bei den Szenarien L und BL wurden die Baken anschließend auf dem linken, äußeren Rand der Fahrbahn platziert, sodass sich ein ca. 10 m breiter Korridor ergab, der ausreichend Platz zum Ausweichen zuließ (siehe Bild 9). Hinter der rechten Fahrbahnbegrenzung waren scheinbar willkürlich ein Transporter mit Kastenaufbau, ein geschlossener Pkw-Anhänger und ein weiterer Pkw geparkt. Der Transporter verdeckte die Startposition des Fußgänger-targets, sein Laderaum diente gleichzeitig als versteckte Bedienzentrale für die Steuerung des Antriebs für den Fußgänger. Die übrigen Aufbauten sollten die eigentliche Intention des Versuchsaufbaus zusätzlich verbergen.

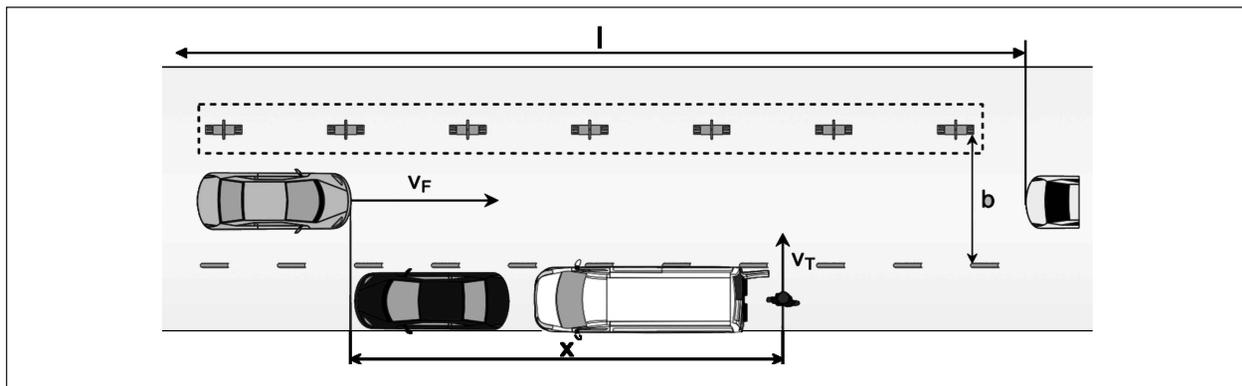


Bild 8: Umsetzung der Basisszenarien im Realfahrversuch



Bild 9: Szenario B (links) und L bzw. BL (rechts) im Realfahrversuch

Kritische Ereignisse

Die Herausforderung bestand in der Konstruktion eines hinreichend realistischen, auf einer Bodenplatte stehenden Fußgängertargets, das eine Kollision mit dem Experimentalfahrzeug unbeschadet übersteht und als Verbundkonstruktion auch Wind- und Beschleunigungskräften standhält. Um das Versuchstarget deutlich als Fußgänger identifizieren zu können, wurden Bekleidungsstücke in gedeckten Farben gewählt (grünes T-Shirt und blaue Jeanshose). Die Puppe wurde elektromagnetisch auf der überfahrbaren Plattform befestigt und mittels einer eigens entwickelten Antriebssteuerung senkrecht zur Fahrtrichtung über die Fahrbahn geführt. Zur automatischen Steuerung der Versuche wurde eine Lichtschranke mit Reflektor zu Beginn des Fahrkorridors platziert. Die Positionierung der Lichtschranken sowie die Parametrierung der Antriebssteuerung bezüglich der Geschwindigkeit und



Bild 10: Versuchstarget

Parameter	Szenarien		
	B	L	BL
Abstand zum Fußgänger bei kritischem Ereignis	33 m	28 m	31 m
Raum zum Ausweichen	nein	ja	ja
Geschwindigkeit des Fußgängers	2 m/s		
Abstand des Fußgängers zum Fahrbahnrand	0.75 m		
Geschwindigkeitsvorgabe für Versuchsfahrzeug	50 km/h		
Fahrstreifenbreite	3.5 m		

Tab. 12: Parameter der Szenarien

des Beschleunigungsverhaltens des Targets wurden anhand von Probeversuchen mit kleinerer Probandenzahl gewählt. Das Signal der Lichtschranke diente als Eingangsgröße, um die Steuerung des Hindernis-Antriebs getriggert zu starten, wobei die Zeitspanne bzw., unter Berücksichtigung einer konstanten Fahrzeuggeschwindigkeit, der Abstand zum Fußgänger, je nach gefahrenem Szenario (B, L, BL) variiert werden konnte. Die Versuchsparameter wurden in gemeinsamen Absprachen und somit in Anlehnung an die Simulatorversuche gewählt, in Vorversuchen bestätigt und können Tabelle 12 entnommen werden. Die abweichenden Abstände des Fußgängers im Vergleich zum Simulator kommen durch das unterschiedliche Bewegungsverhalten des Fußgängers zustande. Während sich der Fußgänger im Simulator direkt nach dem Auslösen mit 2 m/s bewegt, muss der Dummy im Realversuch zunächst beschleunigt werden, um beim Sichtbarwerden eine Geschwindigkeit von 2 m/s zu haben.

Für diese Funktionalität und für die zur Auswertung notwendige Synchronisation mit den im Fahrzeug aufgezeichneten Messdaten erfolgte die Zeitaufnahme mithilfe eines GPS-Empfängers. Eine weitere Lichtschranke kurz vor dem Laufweg der Fußgängerpuppe diente dem erforderlichen Sicherheitskonzept. Bei deren Aktivierung wurde die elektromagnetische Verbindung zwischen Fahrplattform und Fußgänger über ein Relais stromlos geschaltet. So konnte garantiert werden, dass bei einer möglichen Kollision nicht die komplette Antriebsapparatur mit der Puppe durch das fahrende Fahrzeug mitgeschleift wurde.

Nebenaufgabe

Aus Sicherheitsgründen wurde auf die zusätzliche Bewältigung einer Nebenaufgabe während der Fahrversuche verzichtet.

6 Datenanalyse

Die Auswertung der Daten erfolgt für die zwei Datenbasen aus Simulator und Realfahrt mit verschiedenen Softwarepaketen. Die vom Simulator aufgezeichneten Rohdaten wurden zunächst in Diadem 2011 (National Instruments) konvertiert, um dort einen ersten visuellen Eindruck der Charakteristika aller relevanten Signalverläufe zu erhalten. Die Daten bleiben unbearbeitet und dienen zu einem

späteren Zeitpunkt als Referenz zur Überprüfung der Auswertungsskripte. Anschließend wurden die Daten aller Personen in Matlab R2011b (Math-Works) zu einem strukturierten Datensatz gebündelt, um für jede Person und für jedes kritische Ereignis ein Set von definierten Kennwerten zu bestimmen. Dieser Kennwert-Datensatz wurde innerhalb von Matlab für Übersichtsgrafiken und -tabellen weiterverwendet. Finale Grafiken und Analysen auf Gruppenebene wurden nach Bedarf in Excel 2010 (Microsoft) und SPSS 21 (IBM) erstellt.

Die im Realversuch aufgezeichneten Messdaten aus dem Versuchsfahrzeug sowie des stationären Versuchsaufbaus (Steuerung Fußgängertarget) wurden für weiterführende Analysen zunächst ins Matlab-Format konvertiert, anhand aufgezeichneter GPS-Daten synchronisiert und in Form strukturierter Datensätze abgelegt. Für jede Versuchsperson und jeden gefahrenen Versuchsaufbau liegt somit ein Datensatz vor. Dies ermöglicht eine zielorientierte Zusammensetzung der jeweiligen Datenbasis für die spätere Auswertung.

6.1 Definition der Kennwerte

Zur Analyse wurde neben geeigneten Stützstellen innerhalb der Signalverläufe eine Auswahl relevanter Kennparameter definiert und aus den aufgezeichneten Messdaten ermittelt. Die Datenanalyse wurde für Simulation und Realfahrversuch in vergleichbarer Weise durchgeführt. Durch Vorüberlegungen, Expertise und die visuelle Sichtung und Analyse von Signalverläufen wurden zunächst situationsbezogene sowie verhaltensbezogene Bezugspunkte definiert. Situationsbezogene Bezugspunkte sind Zeitpunkte, welche sich aus der manöverspezifischen Versuchsanordnung ableiten lassen, wie das Eintreten von kritischen Ereignissen (Fußgänger betritt die Fahrbahn, Vorderfahrzeug bremst). Verhaltensbezogene Bezugspunkte beschreiben Zeitpunkte in den fahrer- und fahrzeugbezogenen Signalverläufen, wie z. B. der Zeitpunkt, zu dem das Gaspedal die Nullstellung erreicht oder das Bremspedal die Nullstellung verlässt. Auf Grundlage dieser Bezugspunkte wurden die eigentlichen Verhaltenskennwerte der Fahrerreaktion definiert (Zeitspanne vom Loslaufen des Fußgängers bis zum Erreichen des fahrerindividuellen Bremsdruckmaximums, Geschwindigkeit beim Erscheinen des Hindernisses, etc.). Eine Übersicht zu diesen Kennwerten ist in Tabelle 13 dargestellt. Eine Auswahl der Kennwerte ist außerdem in Bild 11 veranschaulicht.

Für alle Analysen wird, soweit nicht abweichend erläutert, ein einheitliches Zeitintervall zugrunde gelegt. Betrachtet werden Fahrzeugbewegungen und Fahrerhandlungen ausgehend vom Sichtbarwerden des Fußgängers (bzw. vom Bremsen des vorausfahrenden Fahrzeugs) bis zum Stillstand des Fahrzeuges, bis zur Kollision mit dem Fußgänger oder bis zum Passieren auf Höhe des Fußgängers.

Für die Auswertung sind anhand von Nachversuchen im Simulator und nachträglichen Videoanalysen aus den Realversuchen die jeweiligen Zeitpunkte der physikalischen Sichtbarkeit des Fußgängers/Fußgängerdummys nachjustiert worden. Als Zeitpunkt des Hervortretens wurde der Moment gewählt, in dem der Fußgänger/Fußgängerdummy zu etwa 50 % aus der Verdeckung hervorgetreten ist. Durch dieses Vorgehen wird eine möglichst eindeutige Definition des Zeitpunktes unabhängig von der subjektiven (und somit ggf. probandenspezifischen) Fähigkeit zur visuellen Wahrnehmbarkeit des Fußgängers gewährleistet.

Die einfachste Beschreibung der Fahrerreaktion ist deren Kategorisierung in eine reine Bremsreaktion (Br), eine reine Lenkreaktion (Lr) oder in eine kombinierte Reaktion (Komb). Eine Bremsreaktion liegt dann vor, sobald im Hauptbremszylinder ein Bremsdruck > 0 bar gemessen oder von der Simulation ausgegeben wird.

Anhand des Lenkradwinkels wird analog nach einer Lenkreaktion gesucht. Die Fahrerreaktion wird als Lenkung klassifiziert, wenn der Betrag des Lenkradwinkels 35° übersteigt. Dieser Grenzwert wurde gewählt, da im Fahrsimulator häufig unbedeutende Lenkausschläge mit relativ hohen, aber nur kurzzeitig anhaltenden Lenkradwinkelgeschwindigkeiten auftreten, die zu keiner substantziellen Änderung in der Querposition auf der Fahrbahn führen. Eine visuelle Analyse der Fahrdaten zeigte, dass bei den meisten Reaktionen dieser Art der Lenkradwinkel nicht über $20\text{-}30^\circ$ steigt. Lenkreaktionen für Ausweichmanöver weisen dagegen in der Simulation im betrachteten Geschwindigkeitsbereich einen Mindestquerversatz von 0.5 m bei einem Mindestlenkradwinkel von 40° auf. Ausgehend von diesem Ergebnis wurde der Grenzwert für die Lenkreaktion in der simulierten Stadtfahrt auf 35° bestimmt und nach Prüfung auf Anwendbarkeit auch für die Realfahrt übernommen. Auf Basis einer vergleichbaren Datenanalyse für Autobahn und Landstraße wurde dort der Lenkwinkelgrenzwert zur Identifikation kritischer Fahrmanöver auf 10° gesetzt.

Eine kombinierte Reaktion liegt vor, wenn sowohl eine Brems- als auch eine Lenkreaktion innerhalb des definierten Zeitintervalls erfolgen. Ferner wird hier berücksichtigt, in welcher Reihenfolge die Fahrerreaktionen eintreten (Lenkreaktion mit anschließender Bremsreaktion (LBr) oder Bremsreaktion mit anschließender Lenkreaktion (BLr)).

Unter Berücksichtigung genannter Ausprägungen der Fahrerreaktionen werden im Folgenden Kennwerte anhand der zwei Kategorien „Reaktionszeit“ (vgl. Kapitel 6.1.1) und „Ausprägung“ (vgl. Kapitel 6.1.2) vorgestellt.

6.1.1 Reaktionszeiten

Zu den zeitbasierten Kennwerten zählen unter anderem die Reaktionszeiten bezogen auf den fahrerseitigen Erst- und, sofern vorhanden, Folgeeingriff. Alle Zeitwerte werden hierbei ausgehend vom Erscheinen (angenommener Zeitpunkt der Sichtbarkeit) des Hindernisses ermittelt. Dieser Zeitpunkt bezieht sich entweder auf das Sichtbarwerden des Fußgängers, das Aufleuchten der Bremslichter des Vorderfahrzeugs (Szenario FF im Stadt-, Landstraßen- und Autobahnversuch) oder auf das plötzliche Erscheinen des Fahrzeugs auf der Fahrbahn (übrige Szenarien im Landstraßen- und Autobahnversuch).

Bei Bremsmanövern wird zunächst die Gasrücknahme am Gaspedal betrachtet. Diese bezieht sich auf den Zeitpunkt, zu dem das Pedal letztmalig die Nullstellung erreicht, bevor der Bremsdruck erstmalig ansteigt. Hintergrund dieser Definition ist, dass im Versuch einige Fahrer insbesondere in länger

andauernden Simulatorfahrten regelmäßig im Schubmodus fahren, um u. a. auf die Geschwindigkeitsvorgaben zu regeln und somit auch unabhängig vom Hindernis nicht auswertungsrelevante Gasrücknahmen herbeiführten. Um eine fallspezifische Schätzung der Reaktionszeit der Gasrücknahme sicherzustellen, werden ausschließlich diejenigen Situationen berücksichtigt, in denen der Fahrer kurz vor Eintreten des kritischen Ereignisses das Gaspedal trat und es im Reaktionsablauf zur Betätigung des Bremspedals verließ.

Die Reaktionszeit für die Bremsreaktion bezieht sich auf den Zeitpunkt, zu dem der Bremsdruck im Hauptbremszylinder nach Erscheinen des kritischen Ereignisses erstmalig den Wert 0 übersteigt. Der Beginn der Lenkreaktion wird bei einem Anstieg des Lenkradwinkels auf mindestens 10° identifiziert. Dabei werden im Kontext des Real- und Stadtversuches allerdings nur die Reaktionen berücksichtigt, die vorher als Lenkung klassifiziert wurden (Lenkradwinkel über 35°).

Auf Basis der genannten Bezugspunkte lassen sich weitere Kennwerte ableiten, beispielsweise die (Pedal-) Umsetzzeit als Zeitintervall zwischen den Kennwerten für die Gasrücknahme und die Bremsreaktion oder der zeitliche Versatz zwischen Brems- und Lenkreaktion bei kombinierten Reaktionen.

6.1.2 Ausprägung

Neben der zeitlichen Einordnung und Bewertung der Fahrerreaktionen wurden weitere Kennwerte definiert, die die Charakteristik und Handlungs-

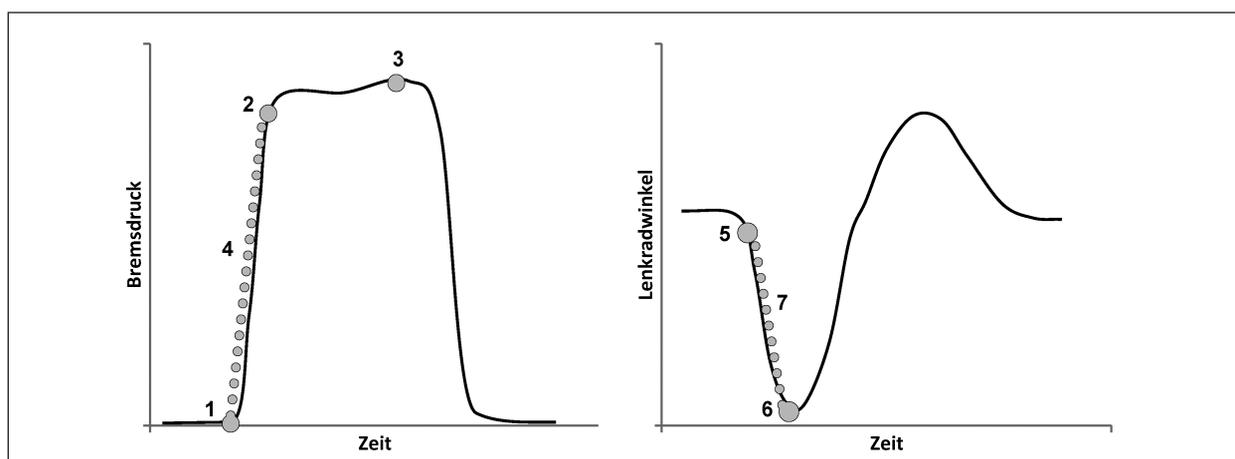


Bild 11: Veranschaulichung der Kennwerte der Bremsreaktion (links) und der Lenkreaktion (rechts). Dargestellt sind Beginn der Brems- bzw. Lenkreaktion (1 bzw. 5), Zeitpunkt des maximalen Bremsdruckes bzw. Lenkradwinkels (3 bzw. 6), der Zeitpunkt der Bremsdrucksättigung (2) sowie der mittlere Gradient des Bremsdruckes bzw. Lenkradwinkels (4 bzw. 7)

Kategorisierung		Bezeichnung	Kriterium
Art der Erstreaktion Bremsung Lenkung Kombinierte Reaktion		Br Lr Kom	Bremsdruck im Hauptbremszylinder > 0 bar Lenkradwinkel > 35° (10° bei LS und AB) Wenn Kriterium für Br und Lr erfüllt
Reihenfolge der Reaktion		BLr LBr	Erstreaktion: Bremsung, Zweitreaktion: Lenkung Erstreaktion: Lenkung, Zweitreaktion: Bremsung
Reaktionszeit	Einheit	von ...	bis ...
Gasrücknahme	[s]	Kritisches Ereignis	Gaspedalstellung letztmalig > 0 bevor Bremsdruck erstmalig > 0
Umsetzzeit	[s]	Gasrücknahme	Bremsreaktion
Bremsreaktion	[s]	Kritisches Ereignis	Bremsdruck erstmalig > 0
Lenkreaktion	[s]	Kritisches Ereignis	Lenkradwinkel erstmalig 10°
Ausprägung	Einheit	Zeitintervall von ...	
Maximaler Bremsdruck	[%]	Bremsreaktion bis zum Passieren des Hindernisses	
Bremsdrucksättigung	[%]	Bremsreaktion bis zum Passieren des Hindernisses	
Mittlerer Bremsdruckgradient	[%/s]	Bremsreaktion bis zur Bremsättigung	
Maximale Längsbeschleunigung	[m/s ²]	Bremsreaktion bis zum Passieren des Hindernisses	
Maximaler Lenkwinkel	[°]	Lenkreaktion bis zum Passieren des Hindernisses	
Mittlerer Lenkwinkelgradient	[°/s]	Lenkreaktion bis zum Umkehrpunkt des Lenkwinkels	
Maximale Querschleunigung	[m/s ²]	Lenkreaktion bis zum Passieren des Hindernisses	

Tab. 13: Art der Fahrerreaktion und Kennwerte (LS Landstraße, AB Autobahn)

intensität der Fahrereingriffe beschreiben. Zugrunde gelegt wurde neben der Ausprägung der Fahrerhandlung auch die jeweils resultierende Fahrzeugbewegung. Betrachtet wurde hierzu der Zeitraum von Beginn der Reaktion bis zum Passieren des Fußgängers bzw. bis zum Fahrzeugstillstand.

Zur Beschreibung der Bremsreaktion wurden der Bremsdruckaufbau im (simulierten) Hauptbremszylinder sowie die einsetzende Fahrzeugverzögerung analysiert. Um den Einfluss von Fahrzeugeigenschaften (z. B. durch Nickverhalten) zu minimieren, wurde an Stelle der körperfesten Längsbeschleunigung bewusst auf die horizontierte, von der Fahrzeugbewegung entkoppelte, Längsbeschleunigung zurückgegriffen. Lenkreaktionen wurden anhand des fahrerseitig aufgebrauchten Lenkwinkels sowie der Fahrzeugquerbeschleunigung beschrieben. Für kombinierte Reaktionsmuster wurde das gesamte Portfolio an Kennwerten ermittelt. Anhand der Extrema und Gradienten von Bremsdruck und Lenkwinkel können Aussagen über die Intensitäten der Fahrereingriffe sowie – bei kombinierter Reaktion – über das Verhältnis der Reaktionsformen getroffen werden. Die aus den Fahrzeugbewegungsgrößen relevanten Fahrzeugeigenschaften aus Antriebs- und Lenkstrang werden hierbei als Einfluss-

parameter auf den regelnden Fahrereingriff im Rahmen der Ergebnisinterpretation berücksichtigt.

Aus diesem Grund werden die fahrerbezogenen Kennwerte (Bremsdruckmaximum, -sättigung, -gradient) zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse in Prozent angegeben. Der prozentuale Anteil bezieht sich dabei jeweils auf die in den gesamten Fahrversuchen maximal gemessenen Bremsdrücke in Simulator- bzw. Realfahrversuchen. Der maximale Bremsdruck beschreibt den maximal im Hauptbremszylinder aufgetretenen Druck pro Ereignis. Eine Bremsdrucksättigung liegt vor, sobald der Bremsdruckgradient zum ersten Mal einen festgelegten Mindestwert unterschreitet. Die Zeitdauer wurde diesbezüglich ausgehend vom Beginn des Bremsdruckaufbaus bis zur ersten signifikanten Abnahme definiert. Der Bremsdruckgradient wird aus den zwei vorher genannten Kennwerten abgeleitet und berechnet sich als mittlerer Gradient von der Bremsreaktion bis zur Bremsdrucksättigung. Als fahrerseitige Reaktion wird die maximal erzielte Längsverzögerung betrachtet.

Vergleichbar zur Bremsreaktion erfolgt die Definition von Kennwerten zur Untersuchung des Lenkreaktionsverhaltens. Die Ermittlung des maximalen

Lenkradwinkels erfolgt hierbei über den Umkehrpunkt des Lenkradwinkels, welcher den Zeitpunkt beschreibt, zu dem der Betrag des Lenkwinkels bezogen auf den ersten Ausschlag sein Maximum erreicht. Entsprechend hierzu berechnet sich der Lenkradwinkelgradient innerhalb des Zeitintervalls von der Lenkreaktion bis zum Umkehrpunkt der Lenkreaktion. Neben diesen fahrerbezogenen Kennwerten wird fahrzeugseitig die maximale Querbeschleunigung untersucht.

6.1.3 Blickdaten

Aus den vom Blicksystem aufgezeichneten Rohdaten können anhand der im Sichtfeld platzierten Marker die Blickfixationspunkte berechnet werden. Die Blickanalysesoftware erlaubt es, die berechneten Fixationspunkte über das aufgezeichnete Videomaterial zu blenden, sodass eine Blickverfolgung während der Wiedergabe des Videos möglich ist. Das normale Vorgehen zur Blickanalyse besteht darin, relevante Bereiche im Bild als „Area Of Interest“ (AOI) zu definieren, um dann automatisiert die Verteilung der Blickzuwendung über mehrere AOIs hinweg zu ermitteln. Die im Sichtfeld platzierten Marker bilden für die AOIs ein Bezugssystem, um die Kopfbewegungen des Fahrers auszugleichen. Da die Marker statisch auf die vordere Leinwand projiziert werden, ist es nicht möglich, präzise und automatisiert zu bestimmen, wann der Fahrer den vorbeilaufenden Fußgänger fixiert. Dazu wäre es nötig, ein AOI an den Fußgänger zu heften, das sich dem bewegenden und größer werdenden Fußgänger entsprechend anpasst.

Aus diesem Grund wurden die Videos mit den Fixationsüberblendungen von Hand codiert. Für jedes kritische Ereignis wurde eine Reihe von Kenngrößen ermittelt, um die zeitlichen und räumlichen Eigenschaften des Blickverhaltens abzubilden. Die relevanteste zeitliche Kenngröße ist die Blickzuwendungszeit, also die Reaktionszeit vom Sichtbarwerden des Fußgängers bis zur Fixation des Fußgängers. Die räumlichen Kenngrößen betreffen zum einen punktuelle Ereignisse, zum Beispiel „Wo schaut der Fahrer zum Zeitpunkt direkt vor dem kritischen Ereignis hin?“ oder „Wo schaut der Fahrer zuerst hin, wenn er den Fußgänger nicht mehr fixiert?“. Dem gegenüber steht die Betrachtung der Blickverteilung über einen Zeitraum hinweg.

Zum einen wird der Zeitraum fünf Sekunden vor dem kritischen Ereignis betrachtet, um die globale

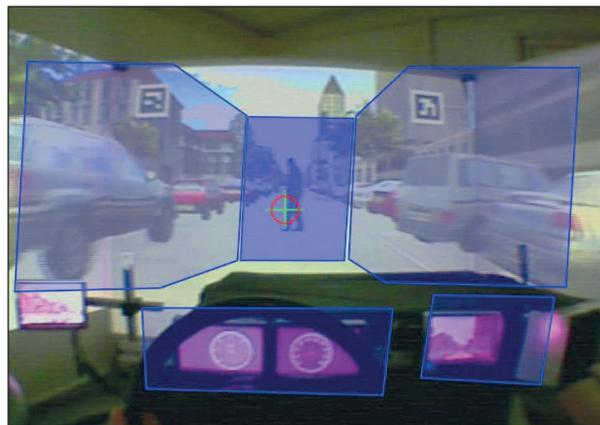


Bild 12: Screenshot aus der Blickanalysesoftware D-Lab (Ergoneers GmbH). Blau dargestellt sind die definierten AOIs. Die aktuelle Blickrichtung wird durch das Fixationskreuz angezeigt (grün mit rotem Kreis). Der Magenta-Farbstich der Anzeigen ist durch den fehlenden Infrarotsperfilter der Kamera bedingt und war für die Versuchspersonen nicht sichtbar

Aufmerksamkeitsverteilung des Fahrers zu bestimmen. Hierbei wird codiert, zu welchem Anteil die Fahrer in bestimmte Richtungen schauen. Dafür wurden fünf Bereiche definiert, die den häufigsten Blickrichtungen entsprechen: „Straße“ („rechts“, „links“, „mitte“), „Tacho“ und „Innenspiegel“. Bild 12 zeigt einen Screenshot aus der Blickanalysesoftware mit den definierten AOIs.

Zum anderen wird der Zeitraum 500 ms vor dem kritischen Ereignis gesondert betrachtet, um die visuelle Ablenkung des Fahrers kurz vor dem Ereignis einzuschätzen. Hierbei wird analog zur globalen Aufmerksamkeitsverteilung vorgegangen. Blicke, die kurz vor dem 500 ms Intervall beginnen, werden mitberücksichtigt.

6.2 Aufbereitung der Daten

Die ermittelten Kennwerte zeigen in einzelnen Fällen auffällig hohe oder niedrige Ausprägungen. So ergeben sich vereinzelt beispielsweise unrealistisch kurze Bremsreaktions- oder Gasrücknahmezeiten von unter 100 ms. Diese Werte können zustande kommen, wenn ein Fahrer die Bremse betätigt, um die vorgegebene Geschwindigkeit einzuregulieren und im selben Moment ein kritisches Ereignis eintritt. Daher werden nach visueller Inspektion der Kennwerteverteilungen Grenzwerte für den fallweisen Datenausschluss definiert, um solche Ausreißer aus der Auswertung auszuschließen.

Zusätzlich bleiben alle Fälle unberücksichtigt, in denen die Ausgangsgeschwindigkeit eine zu hohe

Differenz zur Geschwindigkeitsvorgabe aufweist. Es wurden nur Versuche ausgewertet, bei denen die Geschwindigkeit im Bereich von 40-60 km/h (Stadtfahrt im Simulator und Realversuch) bzw. 85-115 km/h (Landstraßenfahrt) sowie 110-150 km/h (Autobahnfahrt) lag. Außerdem bleiben Fahrdaten von Personen unberücksichtigt, die im Fragebogen angaben, „sehr unrealistisch“ gelenkt oder gebremst zu haben. Bezogen auf den Realversuch weichen in Ausnahmefällen die subjektiven Einschätzungen von Fahrer und Beifahrer hinsichtlich der individuellen Bewertung der Reaktion voneinander ab. In diesen Fällen wird der Bewertung durch den Beifahrer ein höheres Gewicht zugesprochen. Die entsprechenden Fallzahlen sind bei den jeweiligen Auswertungen angegeben.

6.3 Statistische Auswertung

Vom Versuchsplan her wäre theoretisch eine statistische Auswertung mit Messwiederholung möglich, da jeder Proband die verschiedenen Szenarien mehrfach durchfahren hatte. Allerdings ist die Art der Reaktionen (reine Bremsreaktionen, reine Lenkreaktionen, gemischte Reaktionen) je nach Szenario, Durchgang und Proband sehr unterschiedlich. Da die Art der Reaktion sich deutlich auf die Reaktionszeit auswirkt, erscheint es nicht sinnvoll, über verschiedene Arten von Reaktionen zu mitteln. Damit liegen aber nicht für alle Probanden alle Arten von Reaktionszeiten vor. Zum Beispiel haben manche Probanden nur ein oder zwei Lenkreaktionen, die dann nur in bestimmten Szenarien auftreten. Da damit die Werte in den anderen Szenarien fehlen, würden diese Probanden komplett aus der Auswertung fallen. Auswertungen wären dann nur noch in sehr aggregierter Form (z. B. Bremsreaktionszeiten über alle Durchgänge und Szenarien hinweg) möglich. Dies würde die Untersuchung der verschiedenen Einflussfaktoren unmöglich machen.

Aus diesem Grund wurde als Auswertungsebene nicht die einzelne Person, sondern die einzelne Reaktion gewählt. Dies führt dazu, dass jede Person mit mehreren Messwerten in die Analyse eingeht. Bei der Schätzung von einzelnen Parametern (z. B. typische Bremsreaktionszeiten im städtischen Bereich) führt dies dazu, dass die Varianz der Parameter in der Population unterschätzt wird, da verschiedene Messwerte einer Person sicher-

lich eine geringere Varianz aufweisen als dieselbe Anzahl von Messwerten unterschiedlicher Personen. Dies ist bei der Interpretation von geschätzten Parametern zu berücksichtigen, sollte sich aber im Wesentlichen auf die Schätzung der Varianz und nicht auf die Schätzung der Mittelwerte auswirken.

Weiter hat dies Konsequenzen für die statistische Testung von Unterschieden. Da hier jede einzelne Reaktion behandelt wird wie der Wert eines Probanden, wird auf diese Weise künstlich die Anzahl der Probanden für die Testung erhöht. Die auf diese Weise größere Stichprobe führt dazu, dass bereits kleine Unterschiede signifikant werden. Damit sind die Ergebnisse von Signifikanztests mit Vorsicht zu betrachten. Wichtiger erscheint, sich Unterschiede deskriptiv und unter Berücksichtigung der Größe der Unterschiede zu betrachten. So können z. B. Reaktionszeitunterschiede von 20 ms möglicherweise signifikant werden, sind aber praktisch wohl kaum bedeutsam. Um diesen Vergleich zu erleichtern, werden in die entsprechenden Grafiken Vertrauensintervalle eingetragen, sodass man deren Breite einfach grafisch in Beziehung setzen kann zu den entsprechenden Mittelwertunterschieden. Zusätzlich sind im Anhang die Grafiken noch einmal mit Standardabweichungen dargestellt, um die tatsächliche Streuung der Kennwerteverteilungen besser einschätzen zu können. Auf eine detaillierte statistische Absicherung mit entsprechenden Darstellungen der Teststatistiken und Signifikanzen wurden daher weitgehend verzichtet. Die Daten werden überwiegend deskriptiv durch ihre Rohwertverteilungen und der Ausprägung der jeweils angemessenen Lage-, Streu und Zusammenhangsmaße analysiert. Zur Bewertung des Stichprobenfehlers werden für die relevanten Punktschätzer zusätzlich 95%-Konfidenzintervalle berechnet. Wenn diese sich nicht oder nur wenig überlappen, ist von einem statistisch signifikanten Unterschied auszugehen.

Wichtig ist vor diesem Hintergrund auch die Anzahl der Messwerte, die in die verschiedenen Mittelwerte eingehen. Diese werden deshalb ausführlich dargestellt. Dabei handelt es sich, wie oben dargestellt, in der Regel um die Anzahl von Reaktionen, die in die Berechnung eingehen. Wenn an einzelnen Stellen tatsächlich die Personen verglichen werden, wird dies besonders hervorgehoben.

7 Abgleich Simulator vs. Realfahrzeug

Der Stadtkontext wurde für den Vergleich von Simulator und Realfahrt ausgewählt, da aufgrund der geringen Geschwindigkeit das geringste Gefahrenpotenzial besteht. Um die Frage der Übertragbarkeit der Ergebnisse zu beantworten, wurde der Stadtversuch aus dem Simulator im realen Kontext möglichst genau nachgestellt. Damit wurden drei Fragestellungen untersucht:

1. Inwiefern gleichen sich die Häufigkeitsmuster der Erstreaktionen in den beiden Kontexten?
2. Inwiefern gleichen sich die zeitlichen Muster der Erstreaktionen in den beiden Kontexten?
3. Inwiefern gleichen sich die Charakteristika der fahrerseitigen Eingriffe sowie die hieraus resultierenden Fahrzeugbewegungsgrößen in den beiden Kontexten?

Dabei wird zunächst geprüft, wie oft die Fahrer im simulierten und realen Stadtkontext ein entsprechendes Reaktionsverhalten gezeigt haben, das entweder als reine Bremsung (Br), reine Lenkung (Lr) oder kombinierte Reaktion (BLr bzw. LBr) klassifiziert wurde. Für die entsprechenden Reaktionen wurden dann die in Kapitel 6.1.1 definierten Reaktionszeiten für die Gasrücknahme, die Umsetzzeiten vom Gas- zum Bremspedal sowie die Brems- bzw. Lenkreaktionszeiten verglichen. Schließlich wurden die Signalverläufe für das Bremspedal und das Lenkrad anhand einer Auswahl definierter Kennparameter untersucht, um die Unterschiede in den Charakteristika der Fahrereingriffe besser interpretieren zu können.

7.1 Datenauswahl

Für die Gegenüberstellung wurden nur Versuche berücksichtigt, in denen der Fahrer noch keine Erwartungshaltung aufwies und ohne Ablenkung fuhr. Beim Simulatorversuch sind dies die Erstreaktionen der nicht-abgelenkten Fahrer aus der ersten Strecke. Im Realversuch wird für die Reaktionszeiten pro Versuchsperson entsprechend nur der erste Durchgang (Szenario B) ausgewertet. Für Lenkreaktionszeiten war dieses Vorgehen allerdings nicht möglich, da im ersten Durchgang in der Realfahrt nur sehr wenige Lenkreaktionen auftraten. Daher mussten für die Lenkreaktionszeit alle drei Durch-

gänge (Szenario B, L, BL) pro Versuchsperson in die Auswertung aufgenommen werden.

Für die Gasrücknahme, die Bremsreaktionszeit und die Umsetzzeit wurden alle Versuche berücksichtigt, in denen eine reine Bremsung (Br) oder eine kombinierte Brems-Lenk-Reaktion (BLr) vorlag. Analog wurde die Lenkreaktionszeit dann berechnet, wenn eine reine Lenkung (Lr) oder eine kombinierte Lenk-Brems-Reaktion (LBr) auftrat. Für die Untersuchung der Verläufe (vgl. Kapitel 6.1.2) wurden reine und kombinierte Reaktionen getrennt ausgewertet, da sich hier im Gegensatz zu den Reaktionszeiten deutlichere Unterschiede zwischen den Reaktionstypen ergeben. Sofern vorliegend, wurden hier Erst- und Zweitreaktionen berücksichtigt.

7.2 Reaktionsmuster

Die Fahrer zeigen in der Realfahrt und im Simulator über die drei Szenarien hinweg eine sehr vergleichbare Verteilung der unterschiedlichen Reaktionen (s. Bild 13). Ein großer Anteil der Reaktionen auf das plötzlich erscheinende Hindernis waren reine Bremsreaktionen (Simulator: 68.2 %, Realversuch: 58.1 %). Während die Anteile reiner Lenkeingriffe in vergleichbaren Prozentbereichen liegen (Simulator: 13.6 %, Realversuch: 12.9 %), reagieren die Fahrer in der Realfahrt im Vergleich zum Simulator etwas häufiger mit einer kombinierten Brems-Lenk-Reaktion (Simulator: 18.2 %, Realversuch: 29.0 %) und damit seltener mit einer reinen Bremsreaktion. Aus den Ergebnissen lässt sich ableiten, dass in kriti-

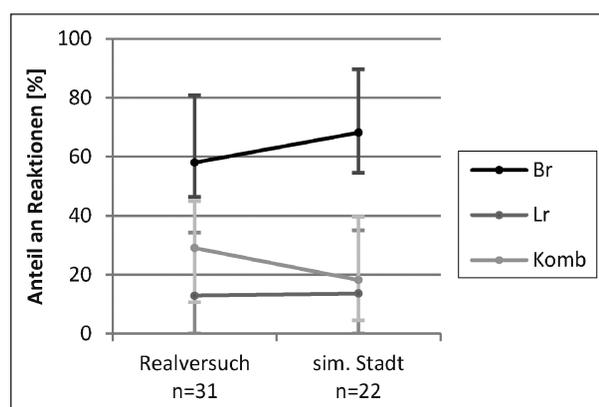


Bild 13: Reaktionsmuster im Realversuch und der simulierten Stadtfahrt (Br reine Bremsreaktion, Lr reine Lenkreaktion, Komb kombinierte Reaktion). Dargestellt sind die prozentualen Anteile der gezeigten Fahrmanöver an den gültigen Versuchsdurchgängen, sowie deren 95%-Konfidenzintervalle und die Gesamtzahl an gültigen Reaktionen

schen Fahrsituationen primär Bremsreaktionen als Einzelreaktion oder in Kombination mit einem Lenkeingriff als „natürliche Fahrerhandlung“ auftreten.

Mehrere Gründe können für den etwas höheren Anteil reiner Bremsreaktionen und die etwas selteneren kombinierten Reaktionen im Simulator verantwortlich sein. Im Simulator bewegen sich die Fahrer durch ein dichtes, dynamisches Verkehrsumfeld. Die Fahrbahn ist dabei rechts aufgrund durchgehender Randbebauung (Bordstein, Bürgersteig mit Passanten, Häuserblöcke, eng parkende Fahrzeuge) begrenzt. Regelmäßiger Gegenverkehr fährt während der gesamten Fahrtdauer (allerdings nicht zum Zeitpunkt des kritischen Ereignisses) auf dem entgegengerichteten Fahrstreifen und somit links in Fahrtrichtung. Dies könnte zu einer verstärkten Unsicherheit der Fahrer in Bezug auf ein Ausweichmanöver mit der Gefahr eines Folgeunfalls geführt haben. In den Realfahrten hingegen bestand bei Szenario L und BL zu jedem Zeitpunkt ausreichend freie Fläche zum Ausweichen. Aufgrund des Versuchsdesigns konnte Gegenverkehr ausgeschlossen werden.

Zusätzlich könnte in der Realfahrt die Variation des Versuchsaufbaus von Szenario B zu Szenario L bzw. BL (Erweiterung des Fahrkorridors um den linken Fahrstreifen) indirekt dazu angehalten haben, die gewonnene Freifläche auszunutzen zu dürfen. Mögliche Erwartungseffekte in der Realfahrt einhergehend mit einem sukzessiven „Erlernen“ der Reaktionsmuster (B → L → BL) können ebenfalls nicht ausgeschlossen werden.

Die Anzahl der gezeigten Reaktionen (Simulator: $n = 22$, Realversuch: $n = 31$) wurde bereits um die ungültigen Fahrversuche reduziert. Auffällig hierbei ist der relativ hohe Anteil ausbleibender Fahrerreaktionen an den Gesamtreaktionen in den Simulatorfahrten (Simulator: 21.4 %, Realversuch: 6.7 %). Während im Realversuch eine reale Kollisionsgefahr mit der Fußgängerpuppe bestand, könnte das synthetische Verkehrsumfeld im Simulator ohne haptische Rückmeldung sowie „folgen-

freier“ Kollision zur Nicht-Reaktion oder zu späteren Reaktion der Fahrer geführt haben.

7.3 Reaktionszeiten

Die Reaktionszeiten im Realversuch und in der Simulatorstudie liegen grundsätzlich in einem vergleichbaren Wertebereich (vgl. Bild 14). Während die Umsetzzeiten annähernd identisch sind (Simulator: 254 ms, Realversuch: 276 ms), fallen die übrigen Reaktionszeiten in der Simulatorstudie marginal größer aus als in der Realfahrt (Simulator: 992 ms (BRM), 726 ms (LNK), 721 ms (GAS), Realversuch: 821 ms (BRM), 650 ms (LNK), 545 ms (GAS)). Dies könnte auf Unterschiede hinsichtlich der Wahrnehmbarkeit des Fußgängers im Simulator im Vergleich zur realen Fahrumgebung zurückzuführen sein. Während die Sichtbarkeitszeitpunkte (physikalische Sichtbarkeit) bezogen auf die Fahrscenarien aufeinander abgestimmt sind, unterscheidet sich die Wahrnehmbarkeit des Hindernis-

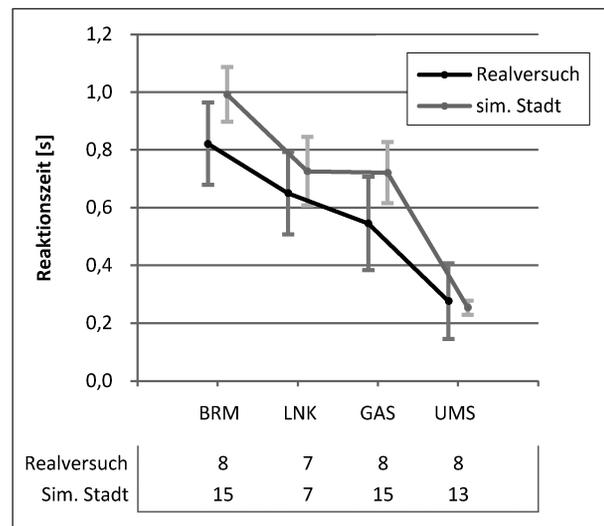


Bild 14: Dargestellt sind Mittelwerte, deren 95%-Konfidenzintervalle und Anzahl der Reaktionen (unten) für die verschiedenen Reaktionszeiten im Fahrsimulator und Realversuch (BRM Bremsreaktionszeit, LNK Lenkreaktionszeit, GAS Gasrücknahmezeit, UMS Umsetzzeit)



Bild 15: Gegenüberstellung Szenario B im Simulator (links) und Realversuch (rechts)

ses (vgl. Bild 15). Aufgrund der Hintergrundfärbung sowie der Bilddynamik und Objektanzahl im Sichtfeld des Fahrers hebt sich der Fußgänger im Simulator weniger stark von seiner Umgebung ab. Dies könnte der Grund dafür sein, dass für die Erkennung mehr Zeit benötigt wird, was sich dann in den entsprechenden Reaktionszeiten niederschlägt.

In beiden Kontexten ist die Bremsreaktionszeit erwartungsgemäß länger als die Lenkreaktionszeit. Insbesondere im Simulator sowie in ähnlichem Maße auch im Realfahrzeug sind Gasrücknahmezeit und Lenkreaktionszeit sehr vergleichbar. Insgesamt kann bei diesen sehr geringen Unterschieden von maximal 176 ms eine sehr hohe Übereinstimmung der Reaktionszeiten im Simulator und Realfahrzeug festgestellt werden.

7.4 Ausprägungen der Reaktionen

Die Ausprägungen fahrer- und fahrzeugbezogener Signale wurden anhand ausgewählter charakteristischer Kennwerte auf Basis von Tabelle 13 untersucht. Die Auswertung erfolgt getrennt für längsdynamisch und querdynamisch zugehörige Signale.

Signale aus der Kategorie Längsdynamik:

- Fahrerbezogen: Bremsdruck, Bremsdrucksättigung, Bremsdruckgradient,
- Fahrzeugbezogen: Längsbeschleunigung.

Signale aus der Kategorie Querdynamik:

- Fahrerbezogen: Lenkwinkel, Lenkwinkelgradient,
- Fahrzeugbezogen: Querbeschleunigung.

Im Bereich der Längsdynamik liegen insgesamt hohe Übereinstimmungen zwischen den Ergebnissen aus der Simulatorstudie (Stadtfahrt) und der Realfahrt vor auch wenn die Fallzahlen teilweise sehr klein für einen aussagekräftigen Vergleich sind (vgl. Bild 16). Dies gilt insbesondere für die Kennwerte des maximalen Bremsdrucks und der Bremsdrucksättigung. Sowohl bei der Betrachtung der Mittelwerte des maximalen Bremsdrucks bei reinen Bremsreaktionen (Simulator: 83.8 %, Realfahrt: 78.0 %) als auch bei kombinierten Lenk-Brems-Reaktionen (Simulator: 56.0 %, Realfahrt: 44.0 %) unterscheiden sich diese durchschnittlich um weniger als 15 % (Bremsreaktion: 6.9 %, Lenk-Brems-Reaktion: 21.4 %). Ein ähnliches Ergebnis ergibt der Vergleich von Mittelwerten für die Bremsdrucksättigung bei reinen Bremsreaktionen (Simulator: 77.5 %, Realfahrt: 67.0 %) sowie bei kombinierten Lenk-Brems-Reaktion (Simulator: 50.4 %, Realfahrt: 40.0 %). Auch hier finden sich unter Berücksichtigung der Versuchsdynamik verhältnismäßig geringe Unterschiede (Bremsreaktion: 13.6 %, Lenk-Brems-Reaktion: 20.6 %). Darüber hinaus entsprechen die abfallenden Kennwertbeträge von der reinen Bremsreaktion hin zur kombinierten Lenk-Brems-Reaktion der Erwartungshaltung, dass die Intensität der Fahrerreaktion für kombinierte Reaktionsmuster aus längsdynamischer Betrachtung abnimmt.

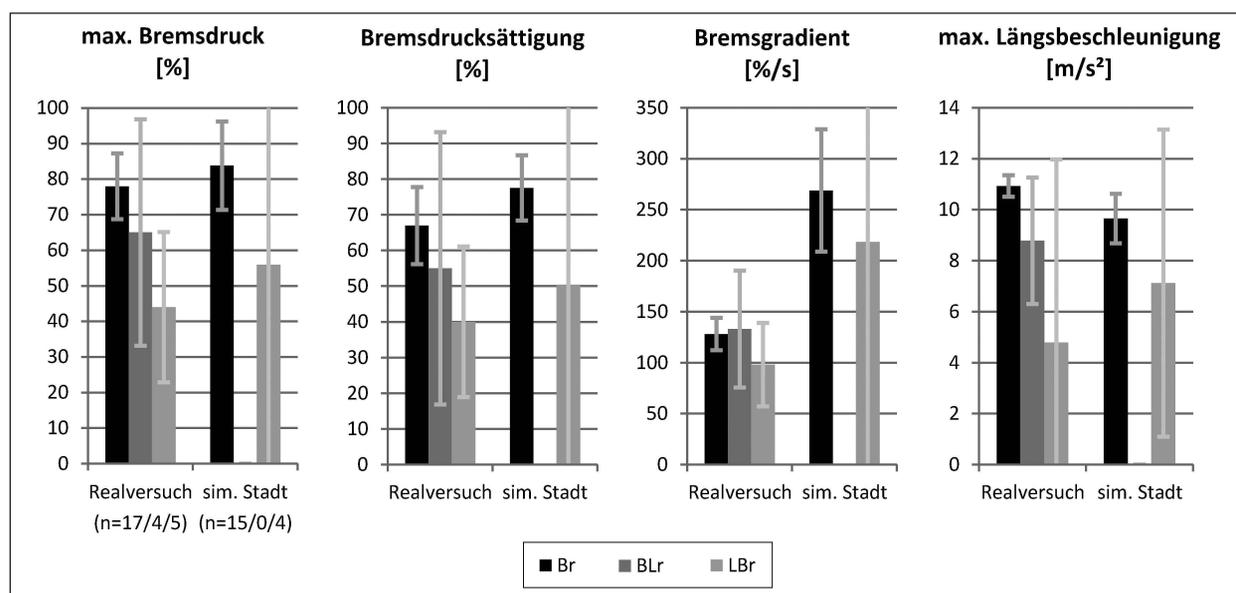


Bild 16: Reaktionsausprägungen aus dem Bereich der Längsdynamik. Dargestellt sind Mittelwerte und deren 95%-Konfidenzintervalle. Die Häufigkeiten der Reaktionen sind der linken Grafik zu entnehmen

Vergleichsweise höhere Unterschiede werden bei der Analyse des mittleren Bremsdruckgradienten deutlich (Bremsreaktion-Simulator: 269 %/s, Bremsreaktion-Realfahrt: 128 %/s bzw. Lenk-Brems-Reaktion-Simulator: 218 %/s, Lenk-Brems-Reaktion-Realfahrt: 98 %/s). Hier liegt die durchschnittliche Abweichung bei über 50 % (Bremsreaktion: 52 %, Lenk-Brems-Reaktion: 55 %). Zur Erläuterung der identifizierten Abweichungen wurden weiterführende Hardware-Untersuchungen am Mock-Up (Simulator) bzw. am Versuchsträger (Realfahrzeug) durchgeführt. Bild 17 zeigt den zugehörigen Messaufbau (inklusive Kraftmessdose und Wegsensor) zur Vermessung der Kraft-Weg-Kennungen der Bremspedalerie. Um eine möglichst hohe Vergleichbarkeit zu den Probandenversuchen zu gewährleisten, wurden die Einzelmessungen anhand nachgestellter Fahrerbremsen eingetriggert (dynamische Vermessung). In Bild 18 zeigt sich, dass die einzelnen Kennlinien

für das Bremspedal im Simulator (dynamische Messung 1-3 (Simulator)) eine deutlich höhere Steigung aufweisen als die Kennlinien für das Bremspedal im Realfahrzeug (dynamische Messung 1-3 (Fahrzeug)). Daraus lässt sich ableiten, dass bei gleichem Bremspedalweg spürbar geringere Bremspedalkräfte im Simulator aufgebracht bzw. Gegenkräfte überwunden werden müssen als im Realfahrzeug. Aufgrund des proportionalen Zusammenhangs zwischen Bremspedalweg und Bremsdruck sind die Ergebnisse auf die Kennwerteebene übertragbar, sodass in der Simulatorstudie höhere Bremsdruckgradienten eingestellt werden als im Realversuch. Der maximale Bremsdruck sowie die Bremsdrucksättigung beschreiben den Endzustand der Fahrerreaktion und werden von den dargestellten Hardwareunterschieden wenig bis nicht beeinflusst. Eine weitere Quantifizierung ist auf Basis zusätzlicher Messreihen nicht möglich.

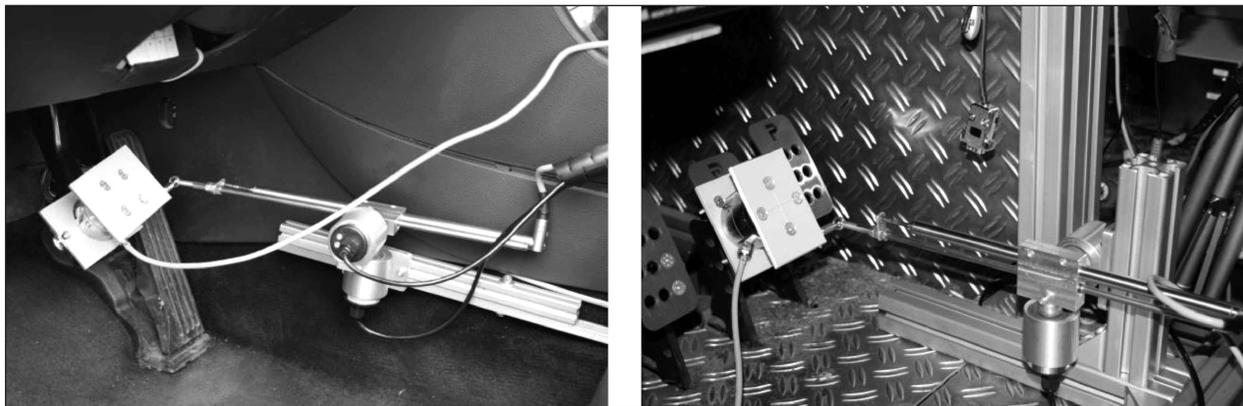


Bild 17: Messaufbau zur Vermessung von Bremspedalkraftkennlinien (links: Fahrzeug, rechts: Simulator)

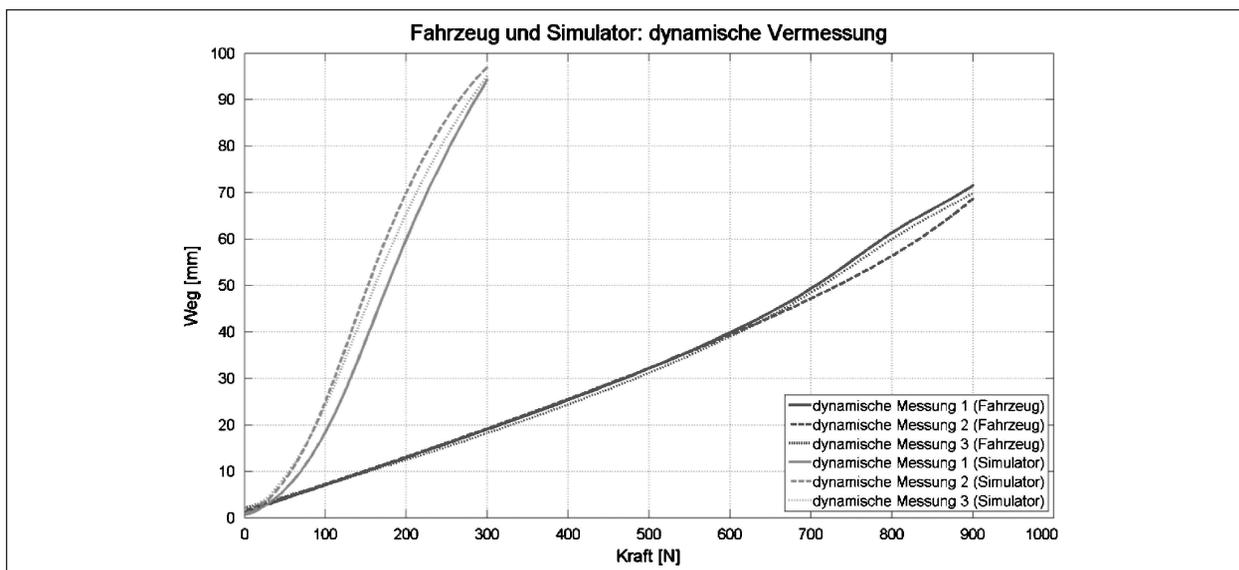


Bild 18: Vergleich Bremspedalkraft-Kennlinie Simulator vs. Realfahrzeug

Analog zu den insgesamt sehr ähnlichen Reaktionsausprägungen des Fahrers liegen auch die Fahrzeugreaktionen mit Bezug zum Kennwert der maximalen Längsbeschleunigung in einem vergleichbaren Wertebereich (Bremsreaktion-Simulator: 9.7 m/s^2 , Bremsreaktion-Realfahrt: 10.9 m/s^2 bzw. Lenk-Brems-Reaktion-Simulator: 7.1 m/s^2 , Lenk-Brems-Reaktion-Realfahrt: 4.8 m/s^2). Sowohl im Simulator als auch in der Realfahrt wird der längsdynamische Grenzbereich bei reinen Bremsingriffen erreicht. Anhand der fahrer- als auch der fahrerbezogenen Kennwerte zeigt sich, dass in der Simulatorstudie im Vergleich zur Realfahrt verhältnismäßig stärkere Bremsingriffe bei den kombinierten Lenk-Brems-Manövern eintreten. Es ist zu beachten, dass neben den identifizierten Hardwareunterschieden zudem auch die Fahrzeugeigenschaften (Fahrwerk, Bereifung, etc.) der unterschiedlichen Fahrzeugmodelle (Simulation: BMW 5er, Realversuch: Volkswagen Passat) die Reaktion des Fahrzeugs auf Fahrerhandlungen überlagern. Diesbezüglich liegen die analysierten Ergebnisse sowohl in der Simulation als auch im Realfahrzeug in einem plausiblen Wertebereich.

Weiterhin ist anzumerken, dass kombinierte Brems-Lenk-Reaktionen unter den genannten Randbedingungen (keine Erwartungshaltung, ohne Ablenkung) nur im Realversuch auftraten, sodass ein Vergleich zwischen Simulator- und Realversuchswerten ausbleibt. Die Ausprägungen der Fahrerreaktionen für den Realversuch sind durchschnitt-

lich niedriger als bei reinen Bremsreaktionen und höher als bei kombinierten Lenk-Brems-Reaktionen. Dieses Ergebnis erscheint plausibel. Es ist anzunehmen, dass entsprechende Reaktionsmuster bei einer größeren Stichprobe ebenfalls eingetreten wären. Grundsätzlich können bei der kombinierten Lenk-Brems-Reaktion nur wenig Fälle (Simulation: 4 Probanden, Realversuch: 5 Probanden) zugrunde gelegt werden, die zudem stark streuen, sodass die Konfidenzintervalle der Mittelwerte teilweise zu breit für aussagekräftige Vergleiche sind.

Trotz der geringen Anzahl an Reaktionen liegen in der Kategorie Querdynamik vergleichsweise größere Unterschiede zwischen Simulatorstudie und Realversuch vor (s. Bild 19). Aus diesem Grund erfolgt vor dem Vergleich eine separate Analyse der Ergebnisse. Im Realversuch fällt auf, dass die Mittelwerte für den maximalen Lenkwinkel zwischen den unterschiedlichen Fahrerhandlungen nur eine geringe Spreizung von 14° aufweisen (Lenkreaktion-Realversuch: 117.3° , Brems-Lenk-Reaktion-Realversuch: 127.1° , Lenk-Brems-Reaktion-Realversuch: 131.3°). Dies deutet auf einen repräsentativen Kennwertebereich hin. Größere Unterschiede zeigen sich hingegen bei den Mittelwerten des Lenkwinkelgradienten. Den Erwartungen entsprechend ist der Kennwert bei der reinen Lenkreaktion am höchsten (Lenkreaktion-Realversuch: $388.2^\circ/\text{s}$, Brems-Lenk-Reaktion-Realversuch: $366.8^\circ/\text{s}$, Lenk-Brems-Reaktion-Realversuch: $270.2^\circ/\text{s}$). Es ist festzustellen, dass bei der Brems-Lenk-Reaktion

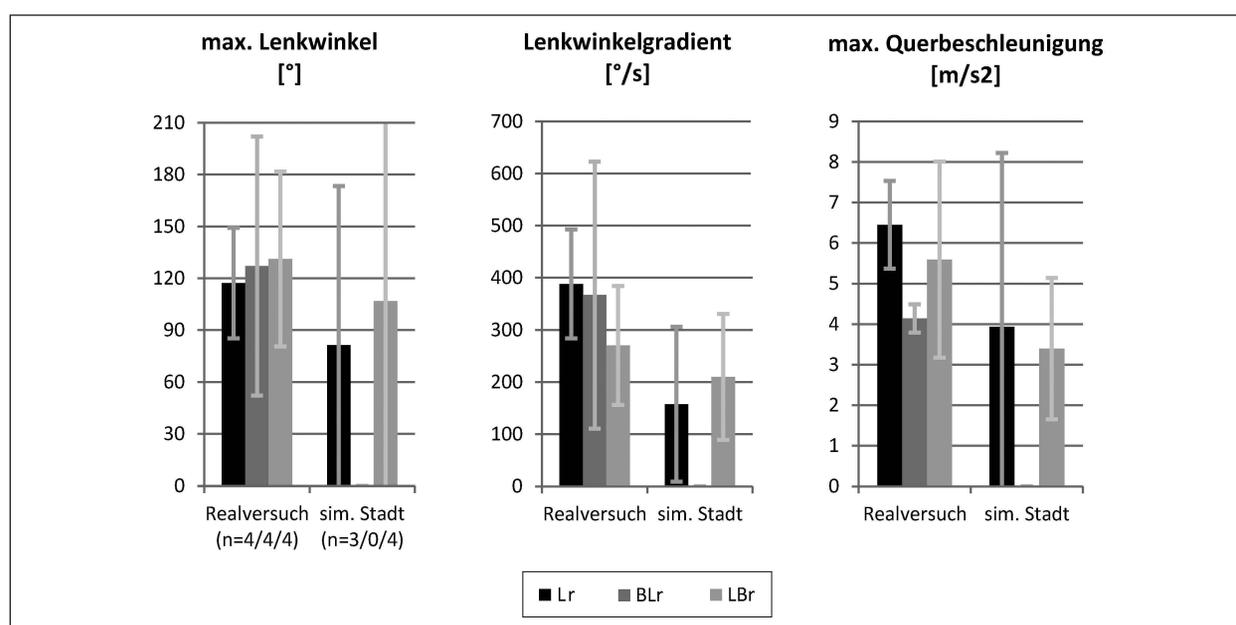


Bild 19: Reaktionsausprägungen aus dem Bereich der Querdynamik. Dargestellt sind Mittelwerte und deren 95%-Konfidenzintervalle. Die Häufigkeiten der Reaktionen sind der linken Grafik zu entnehmen

schneller gelenkt wird, als bei der Lenk-Brems-Reaktion. Diesbezüglich liegt die Vermutung nahe, dass die Fahrer nach anfänglicher Bremsung feststellen, dass diese nicht ausreicht, um die Kollision zu vermeiden und die Zweitreaktion Lenken entsprechend intensiver umsetzen, wobei aufgrund der resultierenden Fahrzeugreaktion ersichtlich ist, dass die Querdynamik vom reinen Lenkeingriff über den kombinierten Lenk-Bremseingriff bis zum kombinierten Brems-Lenkeingriff insgesamt den Erwartungen entsprechend abnimmt (Lenkreaktion-Realversuch: 6.5 m/s^2 , Lenk-Brems-Reaktion-Realversuch: 5.6 m/s^2 , Brems-Lenk-Reaktion-Realversuch: 4.1 m/s^2).

In der Simulatorstudie liegen die Werte der Querdynamik des reinen Lenkeingriffs und des kombinierten Lenk-Bremseingriffs auf einem Niveau (Lenkreaktion-Simulator: 3.9 m/s^2 , Lenk-Brems-Reaktion-Simulator: 3.4 m/s^2), wobei grundsätzlich niedrigere Werte erzielt werden als im Realversuch. Die Vermutung besteht, dass ausbleibende Beschleunigungsrückmeldungen an den Fahrer einen Einfluss nehmen. Stärkere Kennwertausprägungen für die Mittelwerte des maximalen Lenkwinkels (Lenkreaktion-Simulator: 81.3° , Lenk-Brems-Reaktion-Simulator: 106.8°) sowie des Lenkwinkelgradienten (Lenkreaktion-Simulator: $157.3^\circ/\text{s}$, Lenk-Brems-Reaktion-Simulator: $209.5^\circ/\text{s}$) weisen im Hinblick auf die querdynamische Fahrzeugreaktion darauf hin, dass der Bremsingriff bei der kombinierten Reaktion entsprechend hoch ausgeprägt ist. Kombinierte Brems-Lenk-Reaktionen traten in der Simulatorstudie nicht auf.

Der Vergleich zwischen den Ergebnissen aus der Simulatorstudie und dem Realversuch zeigt, dass die Fahrer im Realfahrzeug deutlich intensivere Lenkreaktionen einleiteten und umsetzten. Als Beleg sei die Differenz der Mittelwerte für den maximalen Lenkwinkel bei einer reinen Lenkreaktionen (Simulator-Realversuch: -36.1°) als auch bei der kombinierten Lenk-Brems-Reaktion (Simulator-Realversuch: -24.5°) aufgeführt. Noch deutlicher werden die Unterschiede bei Betrachtung der Differenz der Mittelwerte für den Lenkwinkelgradienten bei reiner Lenkreaktion (Simulator-Realversuch: $-230.8^\circ/\text{s}$) und bei kombinierter Lenk-Brems-Reaktion (Simulator-Realversuch: $-60.7^\circ/\text{s}$). Die Begründung könnte wie bereits angemerkt in der ausbleibenden Längs- und Querbewegung des Mock-Ups liegen. Darüber hinaus wurden im Mock-Up hardwarebezogene Reibungseinflüsse festgestellt, welche der Lenkbewegung entgegenwirken. Es er-

scheint plausibel, dass diese zu einer vergleichbar geringeren Ausprägung der Kennwerte führen könnten. Eine Quantifizierung des Reibungseinflusses auf das fahrerseitige Lenkmoment liegt nicht vor.

7.5 Vergleich mit kritischen Realfahrtszenarien aus 3F-Datenbank

Aus eigenen, bundesweit durchgeführten Versuchsreihen liegen Messdaten zum realen Fahrerverhalten im 3F-Parameterraum (Fahrer, Fahrzeug, Fahrumgebung) vor. Anhand dieser Messdaten sollen einerseits statistische Aussagen über die Häufigkeit kritischer Fahrtszenarien (Brems- und Lenkmanöver) im realen Straßenverkehr abgeleitet werden. Andererseits kann das Fahrerverhalten im Hinblick auf die erfolgten Eingriffe in kritischen Fahrtsituationen wesentlich anhand der Fahrerstellgrößen (Bremsdruck, Bremsdruckgradient, Lenkwinkelstellung, Lenkwinkelgeschwindigkeit, etc.) und ergänzend des Fahrzeugeigenverhaltens (Längs-, Querbewegung) beschrieben werden. Ein abschließender Abgleich der Reaktionscharakteristika aus den realen 3F-Versuchsdaten mit dem identifizierten Reaktionskennwerten aus den synthetischen Realfahrversuchen soll Aussagen zum durchschnittlichen Fahrerverhalten ermöglichen.

7.5.1 Datenbasis

Die zugrunde liegende Datenbasis umfasst insgesamt ca. 110.000 Messkilometer aus dem realen Fahrbetrieb im urbanen Umfeld. Neben relevanten Messgrößen zu Fahrerstellgrößen und zur Fahrzeugeigenbewegung liegt Bildmaterial einer in Fahrtrichtung ausgerichteten Videokamera vor, welches insbesondere zur eindeutigen Identifikation der definierten Fahrtszenarien unterstützend herangezogen wird.

7.5.2 Relevante Fahrtszenarien

Entsprechend der definierten Stadtfahrtszenarien (B, L, BL), wurden zunächst Algorithmen entwickelt, welche aus einer umfangreichen Datenbasis die gesuchten Fahrmanöver automatisiert identifizieren und extrahieren. Diese Rechenroutinen wurden anschließend in Anlehnung an die Ergebnisse aus den Realversuchen (aus Vergleich mit Simulator) parametrisiert, indem Grenzwerte für reine Brems- sowie Lenkreaktionen festgelegt wurden.

Bezogen auf die Datenbasis von ca. 110.000 Messkilometern bzw. 2.700 Fahrstunden konnten fünf kritische Fahrscenarien identifiziert werden, welche die zugrunde liegenden Kriterien (Stadtszenario, Brems- bzw. Lenkeingriff entsprechend der in Tabelle 12 definierten Grenzwerte) erfüllen. Hinsichtlich des kritischen Ereignisses wurden keine Einschränkungen vorgenommen, sodass die Fahrerreaktion fallweise bspw. auch durch einen die Fahrbahn querenden Radfahrer oder ein plötzlich auftauchendes Hindernis hinter einer Kurve ausgelöst wurde. In allen Situationen reagierten die Fahrer mit einem reinen Bremsingriff. Reine Lenkeingriffe erfolgten nicht. Dies könnte u. a. auf die Verkehrsdichte, die Streckenführung als auch die Randbebauung im zugrunde liegenden innerstädtischen Bereich zurückzuführen sein. Ein reiner Lenkeingriff (und damit lediglich der herbeigeführte Querversatz) würde bei diesen Verhältnissen vermutlich keine sichere Unfallvermeidung garantieren. Kombinierte Reaktionen können aufgrund der Anzahl möglicher Ausprägungen (insbesondere hinsichtlich der Eingriffsintensität) und Abhängigkeiten nicht eindeutig identifiziert und bspw. von sportlichen Abbiegemanövern oder Kurvenfahrten abgegrenzt

werden. Die ermittelten Ergebnisse fließen anschließend in die Generierung der Häufigkeitsverteilungen ein.

7.5.3 Kennwerte

Die Reaktionszeiten und Ausprägungen der Fahrer eingriffe in den identifizierten Bremsmanövern (Br) werden anhand der in Kapitel 6.1 definierten Kennwerte beschrieben und analysiert. Die Diagramme in Bild 20 stellen die Ergebnisse aus dem realen Fahrbetrieb im urbanen Umfeld mit den Ergebnissen aus den synthetischen Realversuchen gegenüber. Insbesondere die Ausprägungen zeigen eine hohe Übereinstimmung mit Abweichungen $< 15\%$. Die maximal erzielten Bremsdrücke liegen bei 69% (Realfahrt) bzw. 78% (Realversuch) bezogen auf den fahrzeugspezifisch maximal erreichten Bremsdruck. Die Werte der Bremsdrucksättigung unterscheiden sich um 6 Prozentpunkte (Realfahrt: 61% , Realversuch: 67%). Grundsätzlich lassen sich diese Differenzen, ebenso wie der mittlere Gradient bis zur Bremsdrucksättigung (Realfahrt: $148\%/s$, Realversuch: $128\%/s$) als auch die Längsverzögerung (Realfahrt: 9.6 m/s^2 , Realver-

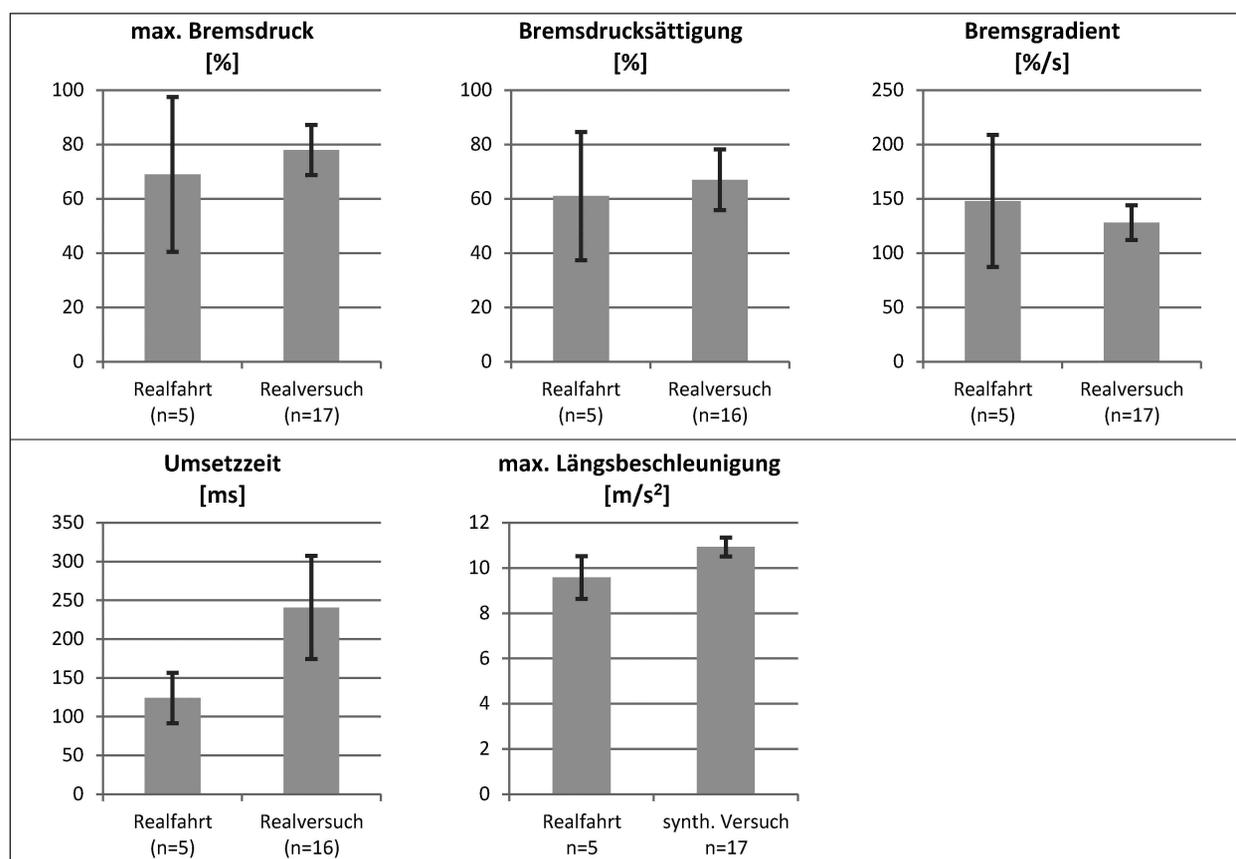


Bild 20: Abgleich realer Fahrbetrieb (öffentliche Straße) mit Realversuch (Versuchsgelände). Dargestellt sind Mittelwerte und deren 95%-Konfidenzintervalle der jeweiligen Kennwerte

such: 10.9 m/s^2), nicht ausschließlich auf eine Varianz der Fahrerhandlungen zurückführen. Als weiterer Einflussfaktor wirken hier insbesondere die fahrzeugspezifischen Übertragungsfunktionen der zugrunde liegenden Versuchsfahrzeuge. Sowohl die fahrer- als auch die fahrzeugbezogenen Kennwerte liegen insgesamt in einem vergleichbaren Wertebereich.

Während die Fahrer im realen Fahrbetrieb am dynamischen, innerstädtischen Verkehrsgeschehen teilnahmen und somit häufig durch Gas- und Bremsengriffe in die Fahrzeuglängsführung eingreifen mussten, ist davon auszugehen, dass sie in Erwartungshaltung auf einen bevorstehenden fahrerseitigen Eingriff waren. In den Realversuchen hingegen wurden die Fahrer dazu angehalten sich mit konstanter Geschwindigkeit einem sichtbaren Crashtarget anzunähern. Ein möglicher Bremsengriff während der Konstantfahrt war für die Fahrer nicht vorhersehbar. Durch diesen Sachverhalt lassen sich ggf. die Unterschiede in Bezug auf die Umsetzzeit (Realfahrt: 120 ms, Realversuch: 240 ms) erklären.

Die hohe Übereinstimmung der aufgezeigten Kennwerte bestätigt das definierte Design, den Aufbau sowie die Durchführung der Realversuche. Mit der Wahl des kritischen Ereignisses (Fußgängerdummy) und den zugrunde gelegten Versuchsparametern konnten ausgewählte zeitkritische Fahrsituationen in Bezug auf die provozierte Fahrerreaktion realitätsnah abgebildet werden.

7.6 Fazit

Untersuchungen im Fahrsimulator bieten gerade für die Ziele des vorliegenden Projekts den Vorteil, relevante Einflussgrößen systematisch variieren und kontrollieren zu können und entsprechende Versuche ohne Gefahr für die Fahrer durchzuführen. Demgegenüber stehen möglicherweise artifizielle Ergebnisse, wenn die Fahrer die Situation nicht entsprechend ernst nehmen oder aber durch die Teilnahme an einem Simulatorversuch zu aufmerksam sind, sodass wiederum zu optimistische Schätzungen von Reaktionsmöglichkeiten und Reaktionszeiten entstehen. Um dies zu prüfen, wurde für das Stadtszenario ein vergleichbarer Aufbau auf einem Prüfgelände mit einem Realfahrzeug realisiert. Sowohl von den Reaktionsmustern als auch den Reaktionszeiten her zeigen sich weitgehend sehr übereinstimmende Ergebnisse. Zudem lassen

sich kleine Unterschiede wie etwas häufiger auftretende kombinierte Brems-Lenk-Reaktionen oder etwas kürzere Reaktionszeiten im Realverkehr auch mit den trotz möglichst parallelen Versuchsaufbauten vorhandenen kleinen Unterschieden (simulierte Stadt vs. Testgelände, höhere Erwartungen bei der Fahrt auf dem Testgelände) erklären.

- Insgesamt bestätigt der Vergleich von Fahrsimulator und Realfahrt damit die Übertragbarkeit der Simulatorergebnisse auf reales Fahrverhalten.

Vor diesem Hintergrund werden im nächsten Kapitel die Ergebnisse aus den Simulatorstudien im Detail dargestellt.

8 Art der Reaktion und Reaktionszeiten

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Simulatorversuche dargestellt. In diesen wurde eine Reihe von Variationen eingeführt, deren Auswirkung auf die Reaktionsart und die Reaktionszeiten dargestellt wird. Dabei werden folgende Aspekte untersucht:

- der Versuchskontext (Stadt, Landstraße, Autobahn),
- der Szenariotyp (Bremsen, Lenken, kombinierte Reaktion, Folgefahrt),
- die Ablenkung (ohne vs. mit Ablenkung),
- die Erwartung (Erstreaktion vs. spätere Reaktionen).

Bei den einzelnen Auswertungen wird jeweils zunächst die Art der Reaktion untersucht, dann die entsprechenden Reaktionszeiten.

8.1 Einfluss des Kontextes

Bei den drei durchgeführten Simulatorversuchen zur Stadt-, Landstraßen- und Autobahnfahrt wurden möglichst ähnliche Szenarien gewählt, um so den Einfluss dieses unterschiedlichen Kontexts untersuchen zu können. Es tauchen jeweils bestimmte Hindernisse auf (Fußgänger in der Stadt, andere Fahrzeuge auf Landstraße und Autobahn), wobei deren Erscheinen und die Ausweichmöglichkeiten so realisiert wurden, dass nur mit einer reinen

Bremsreaktion, einer reinen Lenkreaktion oder einer kombinierten Reaktion die Kollision zu vermeiden war. Auch die Folgefahrt und das plötzliche Abbremsen des Vorderfahrzeugs waren vergleichbar dargestellt. Der wesentliche Unterschied zwischen den drei Kontexten ist die Geschwindigkeit der Fahrzeuge (50 vs. 100 vs. 130 km/h). Dadurch war es auch nötig, die Hindernisse in unterschiedlichen Entfernungen auftauchen zu lassen und die Abstände der Folgefahrten waren unterschiedlich. Um vergleichbare Reaktionsmöglichkeiten zu liefern, sind damit die Abstände deutlich unterschiedlich, was bei den Fahrern möglicherweise zu einer unterschiedlichen Einschätzung der Kritikalität führen könnte. Der größere Abstand auf Landstraße und Autobahn könnte auch dazu führen, dass für die Fahrer Lenkmanöver einfacher erscheinen, da diese nicht so abrupt erfolgen müssen wie in der

Stadt. Weiter kommt hinzu, dass die Bremswege sehr unterschiedlich sind und in der Stadt deutlich kürzer sind als auf der Autobahn.

Für den Vergleich der Kontexte wurden alle entsprechenden Fälle berücksichtigt, unabhängig von Ablenkung oder Erwartungshaltung. Außerdem wird neben den Basisszenarien B, L und BL auch das Szenario FF mitbetrachtet.

Die Reaktionsmuster unterscheiden sich sehr deutlich zwischen den drei Kontexten, wobei insbesondere die Autobahn ein anderes Muster zeigt (s. Bild 21). Während in der Stadt Bremsreaktionen am häufigsten sind (63.6 %), werden es auf der Landstraße etwas weniger (51.6 %). Auf der Autobahn sind reine Bremsreaktionen relativ selten (17.4 %). Umgekehrt ist das Muster der reinen Lenkreaktionen, die in der Stadt nur 6.8 % betragen, auf der Landstraße 20.1 % und auf der Autobahn mit 53.2 % am häufigsten sind. Der Anteil der kombinierten Reaktionen liegt gleichbleibend auf einem Niveau zwischen 26.3 und 26.9 %. Der Anteil an ausgebliebenen Reaktionen ist in allen Versuchen sehr gering bei 2.0 bis 3.2 %.

Bei den Reaktionszeiten werden neben der Bremsreaktionszeit und der Lenkreaktionszeit noch die Zeit zur Gasrücknahme und die Umsetzzeit bei der Bremsreaktion angegeben, um hier die einzelnen Komponenten dieser Reaktion zu bewerten (s. Bild 22). Die Reaktionszeiten der Pedalkennwerte werden jeweils für alle reinen Bremsungen und Brems-Lenk-Reaktionen berechnet. Analog wird die Lenkreaktionszeit für alle reinen Lenkungen und Lenk-Brems-Reaktionen berechnet. Bei dem Vergleich ist zu berücksichtigen, dass in der Stadt vor allem

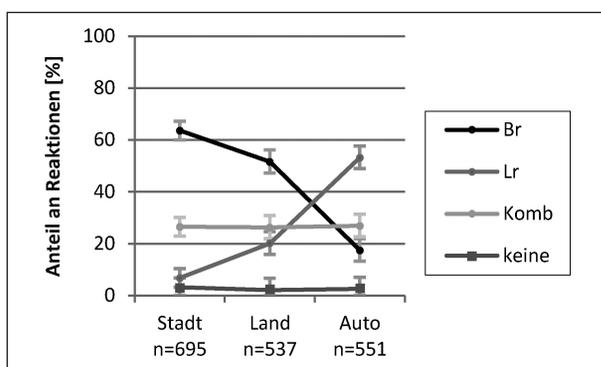


Bild 21: Reaktionsmuster in den drei Simulatorstudien (Br reine Bremsreaktion, Lr reine Lenkreaktion, Komb kombinierte Reaktion). Dargestellt sind die prozentualen Anteile der gezeigten Fahrmanöver an den gültigen Versuchsdurchgängen, sowie deren 95%-Konfidenzintervalle und die Gesamtzahl an gültigen Reaktionen

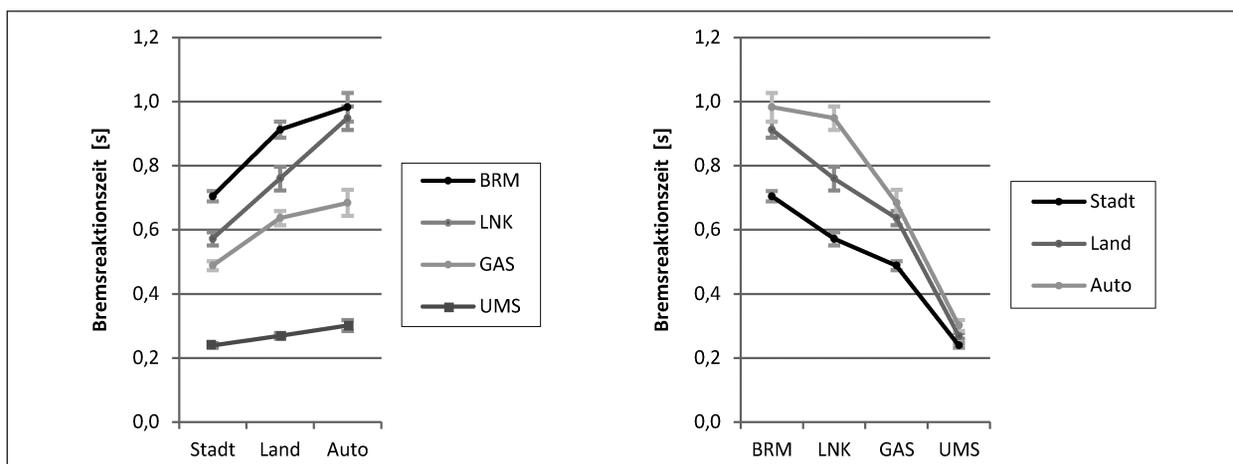


Bild 22: Reaktionszeiten der Bremsreaktion (BRM), Lenkreaktion (LNK), Gasrücknahme (GAS) und Fußumsetzung (UMS). Dargestellt sind Mittelwerte und deren 95%-Konfidenzintervalle. Die Häufigkeiten der entsprechenden Reaktionen sind Tabelle 14) zu entnehmen

reine Bremsreaktionen auftraten, auf der Autobahn überwiegend reine Lenkreaktion. Insofern sind die Fallzahlen hier deutlich unterschiedlich (s. Tabelle 14).

Die Bremsreaktion ist mit 705-955 ms deutlich langsamer als die Lenkreaktion (572-952 ms) (s. Bild 22). Betrachtet man allerdings die Gasrücknahme, so ist diese noch einmal deutlich schneller als die Lenkreaktion (488-663 ms). Die längere Bremsreaktion kommt gegenüber der Lenkreaktion damit dadurch zustande, dass zusätzlich noch eine Umsetzzeit (239-294 ms) notwendig ist. Die Abhängigkeit vom Kontext ist für die verschiedenen Komponenten sehr vergleichbar. Die Reaktionszeiten in der Stadt sind deutlich schneller als auf der Landstraße (etwa 142-211 ms kürzer), die wiederum etwas schneller sind als auf der Autobahn (34-169 ms). Die Lenkreaktionen verlangsamten sich jeweils am stärksten, wohingegen die Umsetzzeiten nahezu gleich bleiben.

Fasst man diese Ergebnisse zusammen, so zeigt sich für den Einfluss des Kontexts:

- In der Stadt wird überwiegend mit Bremsen reagiert (über 60 %), wobei teilweise noch Lenkreaktionen hinzukommen (etwa 30 %).
- Die Reaktionszeiten in der Stadt sind sehr kurz mit Bremsreaktionszeiten von etwa 700 ms und Lenkreaktionszeiten um 600 ms.
- Ein ähnliches Muster zeigt sich auf der Landstraße, wobei hier etwas weniger reine Bremsreaktionen auftauchen (etwa 50 %), dafür häufiger reine Lenkreaktion (etwa 20 %).
- Die Reaktionszeiten auf der Landstraße sind etwa 200 ms länger als in der Stadt mit Bremsreaktionszeiten um 900 ms und Lenkreaktionszeiten um 800 ms.
- Auf der Autobahn dominieren die Lenkreaktionen mit über 50 %, während reine Bremsreaktionen unter 20 % auftreten.
- Brems- und Lenkreaktionszeiten liegen bei der Autobahn bei über 900 ms.

Die Unterschiede in den Reaktionszeiten könnten durch die wahrgenommene Kritikalität erklärt werden, die wiederum durch den unterschiedlichen Abstand beeinflusst sein könnte. Je näher ein Objekt ist, umso kritischer erscheint die Reaktion, was zu schnelleren Reaktionen führen könnte. Auch die Art

des Objekts könnte eine Rolle spielen. Möglicherweise wird eine Kollision mit einem Fußgänger in der Stadt als kritischer bewertet als eine Kollision mit einem anderen Fahrzeug auf Landstraße und Autobahn, was dann ebenfalls die Reaktionszeiten entsprechend beeinflussen könnte. Weiter könnte hinzukommen, dass die Objekte bedingt durch den größeren Abstand eine kleinere Fläche im Gesichtsfeld einnehmen, damit schlechter bzw. langsamer als kritisch zu erkennen sind und sich dies ebenfalls in der Reaktionszeit auswirkt.

Auch die unterschiedlichen Reaktionsmuster könnten durch diese unterschiedlichen Abstände zu erklären sein. Wenn bei größeren Abständen auf Landstraße und Autobahn ein Lenkmanöver einfacher zu realisieren scheint als in der Stadt, wo heftige Lenkreaktionen nötig wären, könnte dies die Zunahme der entsprechenden Manöver erklären. Neben Abstand und Geschwindigkeit ändert sich auch die Einsehbarkeit in den Versuchskontexten. Während die Stadtstrecke viele Objekte enthält und die Erwartungshaltung sehr hoch ist, dass ein plötzliches Manöver zu einer Kollision mit einem Objekt führen könnte, sind Landstraße und Autobahn relativ monoton und gut einsehbar. Im Szenario L und BL ist dort der Ausweichraum vergleichsweise gut einzusehen und bei der Autobahn wird die Lenkreaktion aufgrund des fehlenden Gegenverkehrs noch einmal zusätzlich erleichtert.

8.2 Einfluss der Szenariotypen

In jedem der drei Simulatorversuche wurden die drei Basisszenarien B, L und BL umgesetzt und zusätzlich eine Folgefahrt nachgestellt. Interessant dabei ist vor allem, inwieweit diese unterschiedlichen Rahmenbedingungen tatsächlich zu unterschiedlichen Reaktionsmustern führen. Geprüft wird damit die Annahme, dass die Art der Reaktion wesentlich von den hier variierten Rahmenbedingungen des Abstands zum Hindernis und dem Vorhandensein von Ausweichmöglichkeiten abhängt. Da sich deutliche Unterschiede der Reaktionsmuster in Abhängigkeit vom Kontext ergeben hatten, wird weiter untersucht, ob diese Reaktionen je nach Kontext unterschiedlich ausfallen.

Wie im vorigen Kapitel werden alle Fälle berücksichtigt, unabhängig von Ablenkung oder Erwartungshaltung. Die Anteile der Reaktionen in den einzelnen Szenarien sind in Bild 23 getrennt nach Versuchskontext dargestellt. Insgesamt zeigt sich,

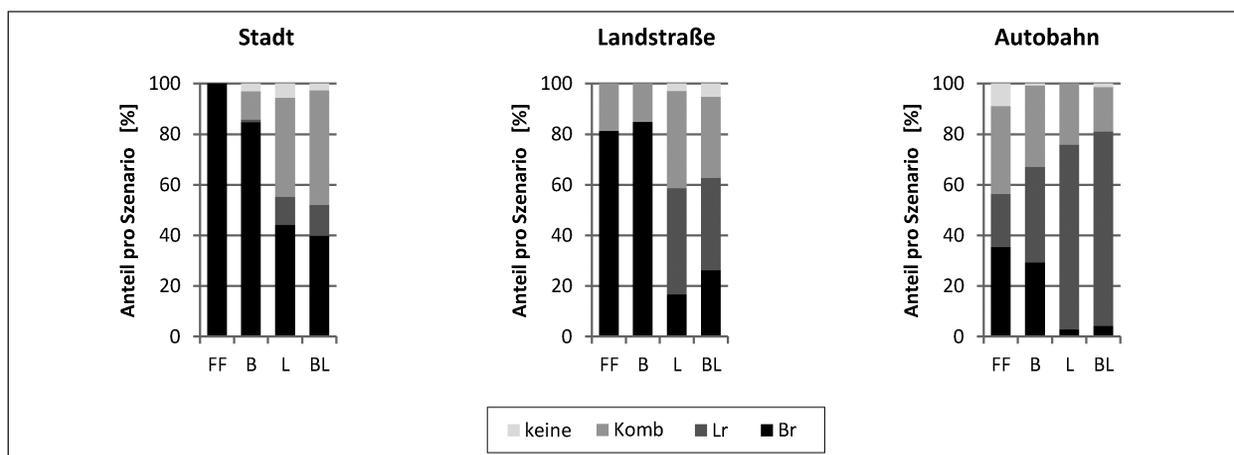


Bild 23: Reaktionsmuster in den drei Simulatorstudien getrennt nach Kontext und Szenariotyp (Br reine Bremsreaktion, Lr reine Lenkreaktion, Komb kombinierte Reaktion). Dargestellt sind die prozentualen Anteile dieser Muster an den gültigen Versuchsdurchgängen in den jeweiligen Szenarien. Die Gesamtzahl an gültigen Reaktionen kann Tabelle 16 entnommen werden

dass die beiden Bremsszenarien FF und B von den Reaktionen her relativ ähnlich sind und sich von den beiden Lenkszenarien L und BL unterscheiden, die wiederum untereinander ein ähnliches Muster zeigen. Wie zu erwarten, finden sich sowohl bei FF als auch bei B deutlich mehr reine Bremsreaktionen, während in den anderen beiden Szenarien deutlich häufiger reine Lenkreaktionen oder kombinierte Reaktionen zu finden sind. Allerdings wird auch hier der Einfluss des Kontexts sehr deutlich. Im Stadt- und Landstraßenversuch liegt der Anteil an reinen Bremsungen in den Bremsszenarien bei über 80 % und damit doppelt bzw. viermal so hoch wie in den Lenkszenarien (42 bzw. 21 %). Im Autobahnversuch liegt der Anteil reiner Bremsungen in den Bremsszenarien nur bei etwa 32 %. Trotzdem entspricht dieser Wert etwa dem achtfachen Anteil der reinen Bremsungen in den Lenkszenarien (4 %). Umgekehrt gibt es in den Bremsszenarien nur im Autobahnversuch reine Lenkungen. Dies ist wohl auf die Gestaltung der Bremsszenarien zurückzuführen. Im Stadt- und Landstraßenversuch wurden die Fahrbahnränder durch parkende Autos, Leitplanken oder Gegenverkehr begrenzt. Im Autobahnversuch war der rechte Fahrstreifenrand durch eine Kolonne von dicht hintereinander fahrenden Lkw blockiert. Der linke Fahrstreifen wurde von mehreren schnell überholenden Fahrzeugen blockiert. Auch wenn es ein hohes Risiko darstellte, nutzte ein Teil der Fahrer die knapp bemessenen Lücken auf der linken Seite, um ein Ausweichmanöver anstelle eines Bremsmanövers durchzuführen. Dadurch ergibt sich im Autobahnversuch sogar in den Bremsszenarien ein relativ großer Anteil an Lenkungen und kombinierten Reaktionen.

Das Verhältnis der kombinierten Reaktionen ändert sich kontextabhängig. Im Stadtversuch treten kombinierte Reaktionen in L und BL mit etwa 42 % knapp viermal so häufig auf wie in B (11 %). Im Szenario FF gibt es gar keine kombinierten Reaktionen. Bei der Landstraßenfahrt sind es mit etwa 35 % doppelt so viele kombinierte Reaktionen in den Lenkszenarien (etwa 17 % in den Bremsszenarien) und bei der Autobahnfahrt sind es 21 % in den Lenkszenarien und anderthalbmal so viele in den Bremsszenarien (33 %).

Betrachtet man die Reaktionszeiten in Bild 24, so findet sich bei der Bremsreaktionszeit in allen drei Kontexten eine langsamere Reaktion bei der Folgefahrt im Vergleich zu den anderen drei Szenarien (etwa 100-200 ms langsamer). Ein ähnliches Muster zeigt sich auch für die Gasrücknahmezeit. Demnach ist es leichter, auf ein plötzlich erscheinendes Hindernis zu reagieren als auf ein Objekt, das sich bereits auf der Fahrbahn befindet und dessen Geschwindigkeitsänderung erst bemerkt werden muss. Die Ergebnisse der Lenkreaktionszeiten sind schwer zu interpretieren, da zumindest im Stadtversuch und bei der Landstraßenfahrt nur sehr geringe Fallzahlen auftraten, da kein sicheres Ausweichen möglich war (s. Tabelle 14). Bei den anderen drei Szenarien sind die Reaktionszeiten sehr ähnlich mit Ausnahme der Autobahnfahrt, bei der im Szenario B die Bremsreaktion um ca. 100 ms und die Lenkreaktion um ca. 300 ms langsamer ist. Da die Gasrücknahme sich nicht verändert, scheint dieser Effekt nicht auf einer verspäteten Wahrnehmung zu beruhen, sondern eher auf einer Verlängerung der Entscheidung für ein angemessenes Manöver. Das zögerliche Reaktions-

verhalten spiegelt sich auch in den verlangsamten Umsetzzeiten wider.

Je nach Szenariotyp entscheiden sich die Fahrer für ein anderes Manöver, um einen Unfall zu ver-

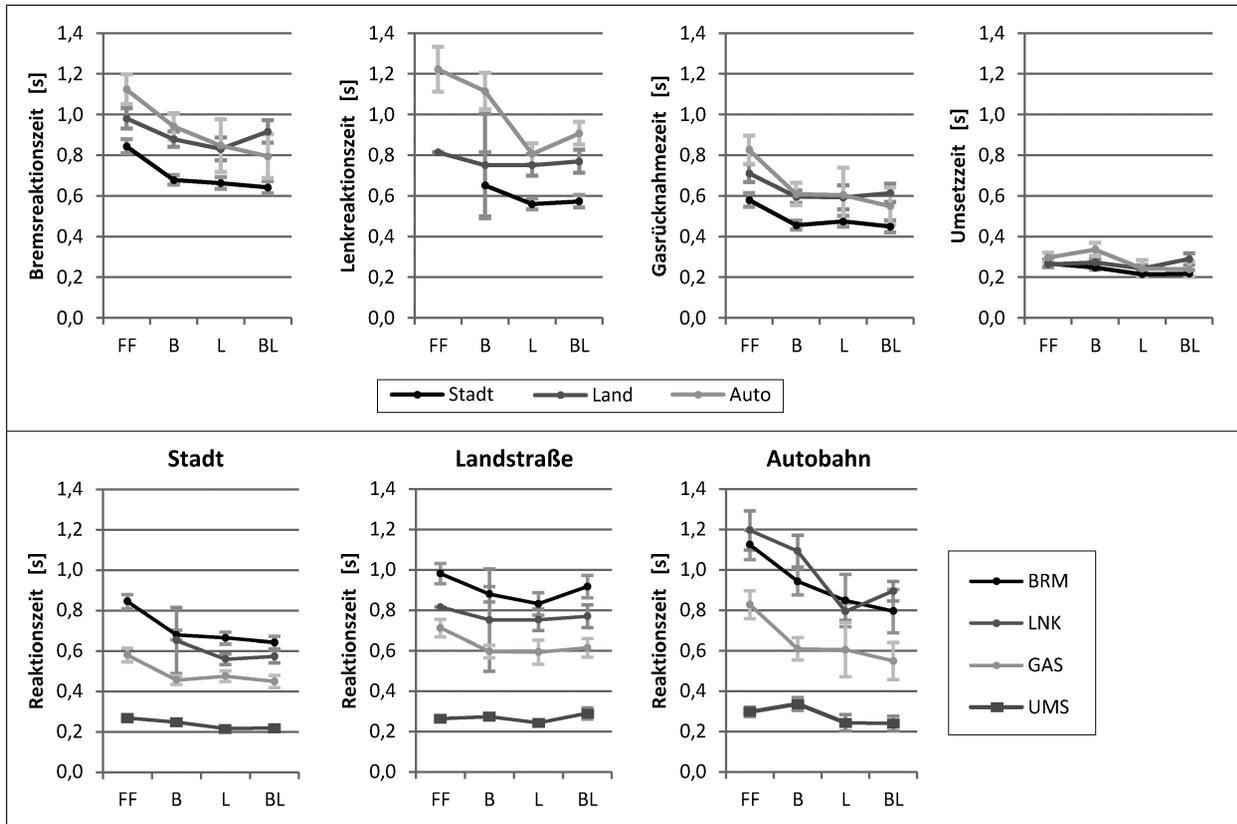


Bild 24: Reaktionszeiten der Bremsreaktionen (BRM), Lenkreaktionen (LNK), Gasrücknahmen (GAS) und Fußumsetzungen (UMS) getrennt nach Kontext und Szenariotyp. Dargestellt sind Mittelwerte und deren 95%-Konfidenzintervalle. Die Fallzahlen der entsprechenden Reaktionen sind Tabelle 14 zu entnehmen

		Gültige Reaktionen			
		Bremsreaktionen	Lenkreaktionen	Gasrücknahmen	Fußumsetzungen
Stadt	FF	113	0	108	99
	B	181	10	165	153
	L	110	76	97	93
	BL	103	80	89	84
Gesamt Stadt		507	166	459	429
Landstraße	FF	121	2	118	117
	B	133	6	130	128
	L	51	83	51	50
	BL	62	68	62	61
Gesamt Land		367	159	361	356
Autobahn	FF	72	40	71	69
	B	80	61	79	75
	L	22	118	21	21
	BL	21	119	19	19
Gesamt Auto		195	338	190	184

Tab. 14: Anzahlen der gültigen Reaktionen pro Versuchskontext (Stadt, Landstraße, Autobahn) und Szenariotyp (B, L, BL, FF)

hindern. Dabei treten in den Bremsszenarien (FF und B) erwartungsgemäß mehr reine Bremsungen auf und in den Lenkszenarien (L und BL) mehr reine Lenkungen als in den jeweils anderen Szenarien. Dieses Muster findet sich in allen Kontexten wieder, wobei sich die konkreten Verhältnisse der Brems- und Lenkreaktionen zwischen den Szenarien unterscheiden. Wie schon im vorherigen Kapitel zu sehen war, sinkt der Anteil reiner Bremsungen im Landstraßen- und Autobahnkontext, wohingegen der Anteil an Lenkungen steigt.

Anders als die Häufigkeiten der Reaktionen sind die Reaktionszeiten in den Basisszenarien relativ konstant. Nur in der Folgefahrt verzögern sich die Reaktionen um etwa 100-200 ms. Hier bestätigt sich der Eindruck, dass das Fahrverhalten in kritische Situationen durch mangelndes Einschätzungsvermögen von relevanten Parametern der Längsbewegung wie die Distanz zum Hindernis, dem Bremsweg oder der (Änderung der) Geschwindigkeit beeinflusst wird. Die Schwierigkeit beim Einschätzen der Längsbewegung spiegelt sich auch darin wider, dass sowohl die Reaktionsmuster, als auch die Reaktionszeiten in den beiden Lenkszenarien sehr ähnlich sind, obwohl in Szenario BL ein Unfall durch eine reine Bremsung verhindert werden kann.

Ein Einflussfaktor in der Gestaltung der Szenarien scheint die Eindeutigkeit der möglichen und angemessenen Fahrmanöver zu sein. Im Kontext der Autobahnfahrt zeigt sich im Szenario B ein erhöhter Anteil an Lenkungen, obwohl dies mit einer erhöhten Unfallgefahr einhergeht. Dementsprechend scheint sich der Entscheidungsprozess für ein Manöver länger hinzuziehen als in den anderen Kontexten.

Damit zeigen sich für den Einfluss des Szenariotyps folgende Ergebnisse:

- Die Ausweichmöglichkeiten und der Abstand zu einem Hindernis beeinflussen wesentlich, wel-

che Reaktion gewählt wird. Bei geringem Abstand dominieren reine Bremsreaktionen. Mit großem Abstand, höherer Geschwindigkeit und Ausweichmöglichkeiten überwiegen reine Lenkreaktionen und gemischte Reaktionen.

- Ebenso wichtig erscheint der Kontext. Im Stadtbereich wird sehr häufig mit Bremsungen reagiert. Auf der Landstraße treten kombinierte Reaktionen häufiger auf und auf der Autobahn wird häufig nur gelenkt.

Gasrücknahme- und Bremsreaktionszeit ist bei der Folgefahrt länger als bei einem plötzlich auftauchenden Hindernis. Dies könnte durch die höhere Salienz der entsprechenden Reize erklärt werden, d. h. dass ein plötzliches Auftauchen einfacher zu erkennen ist als eine Geschwindigkeitsveränderung eines vorhandenen Objekts.

8.3 Einfluss der Ablenkung

Um die potenzielle Wirkung von Ablenkung während der Fahrt zu untersuchen, fuhr ein Teil der Personen im Simulator mit einer Nebenaufgabe. Dabei wurden die Fahrer nur kognitiv beansprucht und konnten somit ihren Blick auf der Straße behalten. Dies war nur bei der ersten Fahrt der Fall, sodass nur die jeweilige erste Reaktion auf ein kritisches Ereignis untersucht werden kann. Als Vergleichsgruppe dienen die Daten der Fahrer ohne Ablenkung während ihrer vergleichbaren ersten Fahrt (s. Tabelle 15).

Im ersten Schritt wurde untersucht, ob die Art der Reaktion mit und ohne Ablenkung unterschiedlich ist. Der Chi²-Test auf Unabhängigkeit zeigt für keinen der Kontexte eine statistisch signifikante Abhängigkeit zwischen dem Reaktionsmuster und der Ablenkung (s. Bild 25). Auch bei den Reaktionszeiten fanden sich keine signifikanten Mittelwertsunterschiede (s. Bild 26). Ein deutlicher Effekt

		Bremsreaktionen	Lenkreaktionen	Gasrücknahmen	Fußumsetzungen
Stadt	Ohne Ablenkung	15	7	15	13
	Mit Ablenkung	7	7	7	6
Landstraße	Ohne Ablenkung	12	9	12	11
	Mit Ablenkung	14	5	14	14
Autobahn	Ohne Ablenkung	5	16	5	5
	Mit Ablenkung	1	21	1	1

Tab. 15: Anzahlen der gültigen Reaktionen bei den abgelenkten und nicht abgelenkten Fahrern, getrennt nach Versuchskontext

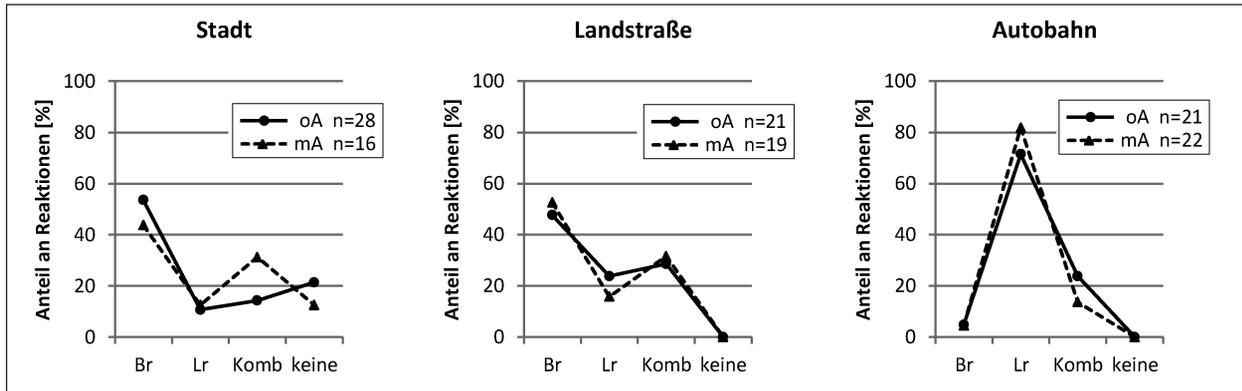


Bild 25: Reaktionsmuster in den drei Simulatorstudien bei abgelenkten (mA) und unabgelenkten (oA) Fahrern (Br reine Bremsreaktion, Lr reine Lenkreaktion, Komb kombinierte Reaktion). Dargestellt sind die prozentualen Anteile dieser Muster an den gültigen Versuchsdurchgängen, sowie die Gesamtzahl an gültigen Reaktionen

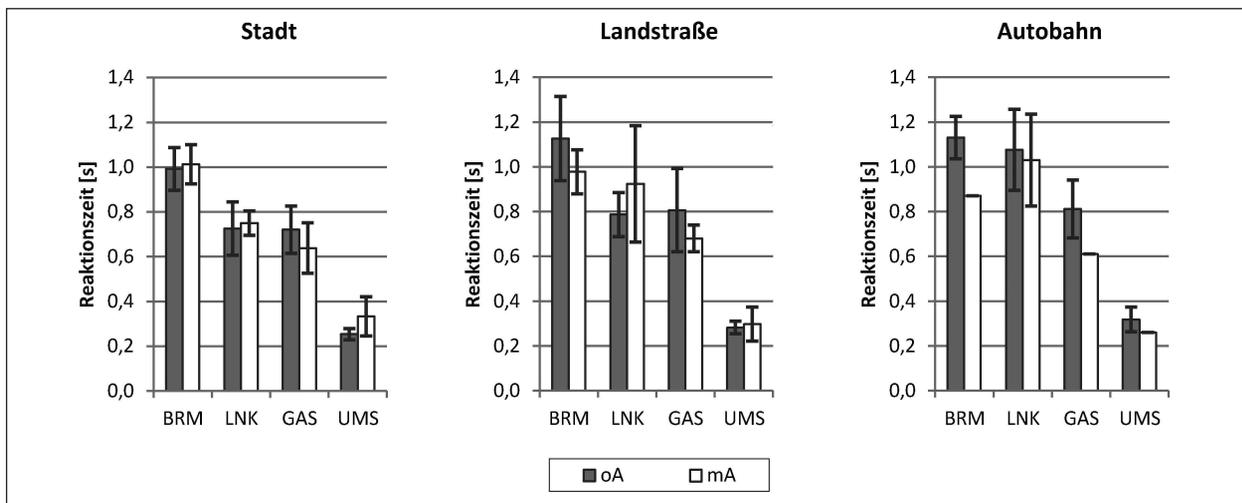


Bild 26: Dargestellt sind Mittelwerte und deren 95%-Konfidenzintervalle der verschiedenen Reaktionszeiten bei abgelenkten (mA) und unabgelenkten (oA) Fahrern (BRM Bremsreaktionszeit, LNK Lenkreaktionszeit, GAS Gasrücknahmezeit, UMS Umsetzzeit). Die Fallzahlen der entsprechenden Reaktionen sind der Tabelle 15 zu entnehmen

der kognitiven Ablenkung lässt sich daher weder von der Häufigkeit der Reaktion noch von der Reaktionszeit her nachweisen. Die Beträge der Differenzen zwischen den Gruppen liegen im Bereich von 16-260 ms (MW = 100 ms, SD = 77 ms).

Der fehlende Unterschied in der Art der Reaktion könnte daran liegen, dass die Fahrer auch mit Nebenaufgabe ihren Blick stets auf die Straße richten können. Vermutlich ist dann beim Auftreten des kritischen Ereignisses dieses und seine Relevanz so einfach zu erkennen, dass trotz kognitiver Beanspruchung ähnlich schnell eine Reaktion ausgelöst wird. Hinzu kommt, dass die Fallzahl hier sehr klein ist, sodass nur sehr große Effekte entdeckt werden können.

8.4 Einfluss der Erwartung

Um den Einfluss der Erwartung zu untersuchen, fuhr jeder Fahrer neben der ersten Strecke, auf der nur ein kritisches Ereignis stattfand, auch noch eine zweite Strecke mit vier weiteren Blöcken von Ereignissen in der Stadtfahrt und drei Blöcken im Landstraßen- und Autobahnversuch. Jeder der Blöcke der zweiten Strecke enthielt die drei Basisszenarien B, L und BL, die auch in der ersten Strecke einmal vorkamen sowie das Szenario FF, das nur in der zweiten Strecke auftauchte. Mit zunehmender Dauer der Fahrt müsste die Erwartung zunehmen, dass weitere kritische Ereignisse auftauchen könnten.

Für die Analyse der Erwartung werden alle Fälle betrachtet. In Block 0 gehen demnach die Daten aus den Szenarien B, L und BL ein. Da für die Ablenkung kein systematischer Effekt nachgewiesen

		Gültige Reaktionen				
		Block 0	Block 1	Block 2	Block 3	Block 4
Stadt	FF	-	32	29	25	27
	B	15	46	45	45	46
	L	15	46	46	46	44
	BL	14	46	42	42	44
Gesamt Stadt		44	170	162	158	161
Landstraße	FF	-	40	42	41	-
	B	14	41	42	42	-
	L	13	42	41	42	-
	BL	13	42	41	41	-
Gesamt Land		40	165	166	166	-
Autobahn	FF	-	42	42	40	-
	B	15	42	43	43	-
	L	14	42	42	43	-
	BL	14	43	43	43	-
Gesamt Auto		43	169	170	169	-

Tab. 16: Anzahlen der gültigen Reaktionen in den jeweiligen Versuchsdurchgängen, getrennt nach Versuchskontext

werden konnte, wird auch die Gruppe mit Ablenkung einbezogen. Für die weiteren Blöcke aus Strecke 2 werden zur besseren Vergleichbarkeit ebenfalls nur die Daten der drei Basisszenarien betrachtet, da ja das Szenario FF nicht in der ersten Strecke in Block 0 vorhanden war. Da sich die Reaktionsmuster zwischen den Versuchskontexten und Szenariotypen teilweise deutlich unterscheiden, werden diese jeweils aufgegliedert. Es werden also die Verläufe der Reaktionsmuster über die Zeit hinweg in Abhängigkeit von den Versuchskontexten (Stadt, Landstraße, Autobahn) und den Szenariotypen (B, L, BL, FF) untersucht. Die entsprechenden 12 Grafiken sind in Bild 27 dargestellt.

Da bei dieser feinen Aufteilung teilweise sehr kleine Fallzahlen vorliegen (siehe Tabelle 16), zeigen sich nur wenige statistisch signifikante Abhängigkeiten (Stadt-L: $X^2_{6, 197} = 88.33$, $p < 0.001$; Landstraße-BL: $X^2_{12, 137} = 21.59$, $p = 0.04$). Daher werden im Folgenden nur die groben Tendenzen dargestellt.

Im Stadtversuch treten insgesamt recht viele reine Bremsungen auf. In den Bremsszenarien (B und FF) liegt der Anteil stets über 80 %. Ab dem zweiten Durchgang (Block 1) treten im Szenario B 10-15 % kombinierte Reaktionen auf. In den Lenkszenarien sind Bremsungen von Beginn an seltener und verringern sich im Verlaufe der Fahrt noch weiter. Der Anteil an reinen Lenkungen steigt kaum.

Der Anteil an kombinierten Reaktionen ist im Landstraßenversuch in Szenario B und FF zunächst etwa 10-15 % höher als in der Stadt, sinkt im weiteren Verlauf der Fahrt aber und liegt im letzten Block auf einem ähnlichen Niveau wie im Stadtversuch. Anders als im Stadtversuch, wo während der Folgefahrt ausschließlich reine Bremsungen auftreten, sind im Landstraßenversuch 28 % der Reaktionen zu Beginn der Fahrt kombinierte Manöver. Der Anteil sinkt über die Blöcke hinweg auf 7 % im Block 3.

Aufgrund der Gestaltung der Bremsszenarien in der Autobahnfahrt (vgl. Kapitel 5.1.3) sind die Reaktionsmuster hier anders. Im Szenario B treten reine Bremsungen nur in 13 % der Fälle auf und kombinierte Reaktionen in 20 % der Fälle. Reine Lenkungen, die im Stadt- und Landstraßenkontext gar nicht auftreten, nehmen bei der Autobahnfahrt im Block 0 einen Anteil von 67 % ein. Dieser Anteil sinkt in Block 1 um etwa 30 % und fällt zum Ende der Fahrt nochmals um etwa 15 % auf 26 %. Im Ausgleich dazu steigen die Anteile der reinen Bremsungen und der kombinierten Reaktionen jeweils bis auf 37 % an.

In den Lenkszenarien (L und BL) treten in allen drei Kontexten deutliche Erwartungseffekte auf. Während die sich Reaktionsmuster der beiden Szenarien in jedem Kontext gegen Ende der Fahrt recht stark ähneln, sind sie zu Beginn der Fahrt teilweise sehr unterschiedlich.

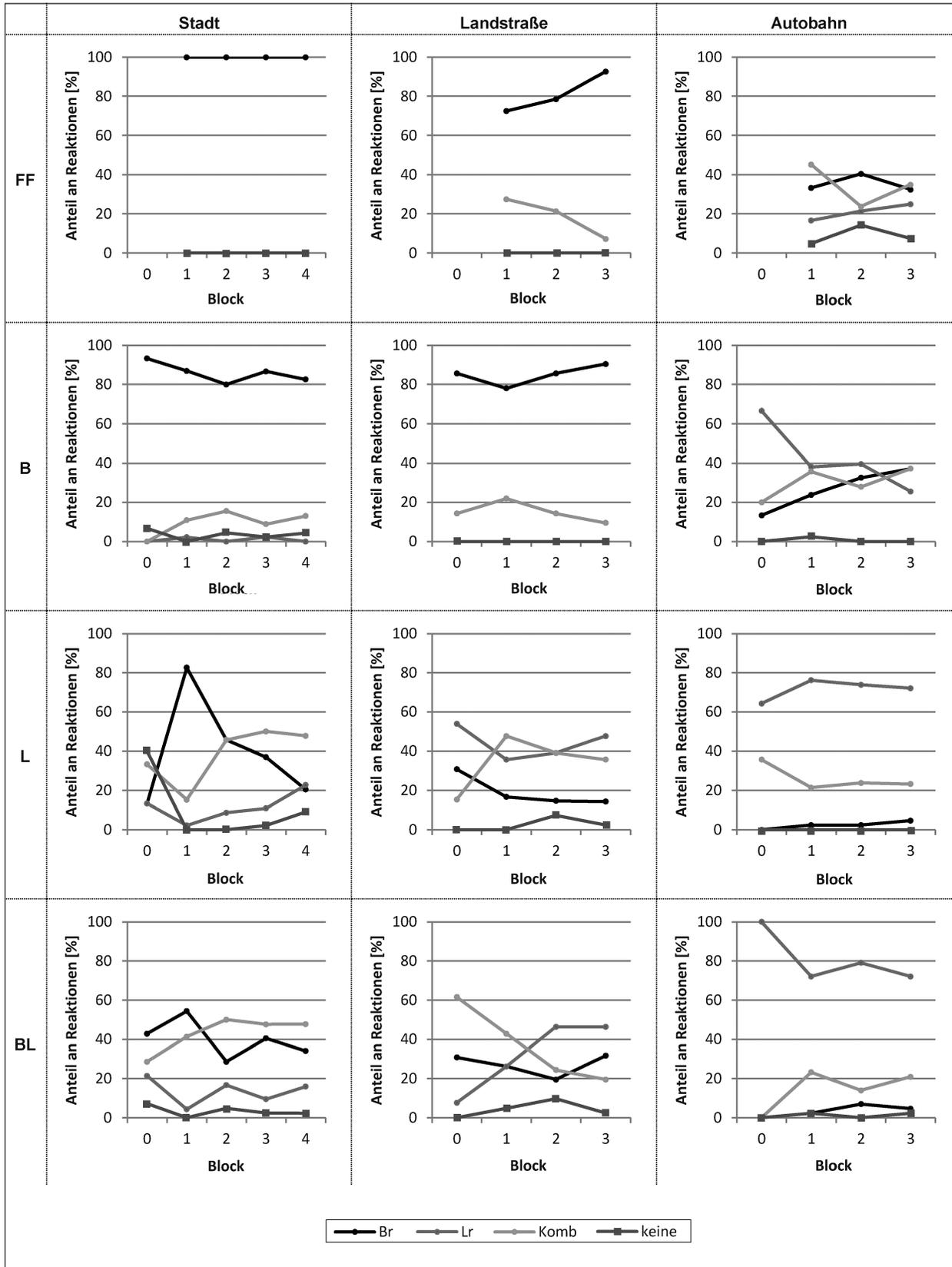


Bild 27: Reaktionsmuster in den drei Simulatorstudien getrennt nach Versuchskontext (Stadt, Landstraße, Autobahn), Szenariotypen (FF, B, L, BL) und Versuchsdurchgängen (Blöcke 1-4). Dargestellt sind die prozentualen Anteile dieser Muster an den gültigen Versuchsdurchgängen in den jeweiligen Blöcken. Die Fallzahlen der gültigen Reaktionen sind Tabelle 16 zu entnehmen

Im ersten Durchgang des Stadtversuchs gibt es in 40 % der Fälle in Szenario L gar keine Reaktion (7 % in BL). Von den tatsächlichen Reaktionen sind etwa die Hälfte kombinierte Manöver. Jeweils ein Viertel entfällt auf die beiden reinen Reaktionen. Im Szenario BL treten reine Bremsungen mit etwas mehr als 40 % doppelt so häufig auf wie reine Lenkungen. Kombinierte Reaktionen liegen auf dem gleichen Niveau wie im Szenario L (etwa 30 %). Der hohe Anteil an ausbleibenden Reaktionen im Szenario L deutet darauf hin, dass die Fahrer den Fußgänger entweder zu spät wahrgenommen haben, um vor dem Zusammenstoß zu reagieren oder zu lange gebraucht haben, um sich für ein Manöver zu entscheiden. Da im Szenario BL mehr Platz zum Fußgänger bestand, zeigen sich hier entsprechend häufiger gültige Reaktionen. Bereits ab dem zweiten Durchgang zeigt sich ein deutlicher Lerneffekt und es gibt kaum noch ausbleibende Reaktionen. Stattdessen gibt es in Szenario L einen sprunghaften Anstieg in den reinen Bremsungen, der vermutlich auf einen Übertragungseffekt aus dem Szenario B zurückzuführen ist (Szenario B wird stets von Szenario L gefolgt), der erst im Verlauf der Fahrt wieder abklingt. Der Anteil kombinierter Reaktionen steigt im Verlaufe der Fahrt und liegt in beiden Szenarien im letzten Block bei 48 %.

Im Landstraßenversuch treten deutlich mehr reine Lenkungen auf. Im Szenario L liegt der Anteil bereits zu Beginn bei über 50 %. Der Anteil an Bremsungen liegt bei etwa 30 % und sinkt bis zum Ende der Fahrt um die Hälfte. Im Ausgleich treten mehr kombinierte Reaktionen auf, die im weiteren Verlauf der Fahrt in reine Lenkungen übergehen. Im Szenario BL treten reine Lenkungen zunächst nur sehr selten auf (8 %) nehmen im Verlauf der Fahrt zu und erreichen das gleiche Niveau, wie im Szenario L. Im Ausgleich sinkt der anfangs sehr hohe Anteil an kombinierten Reaktionen von 60 auf 20 %.

Die Reaktionsmuster in der Autobahnfahrt gleichen sich in den beiden Lenkszenarien recht stark. Über die gesamte Fahrt hinweg liegt der Anteil reiner Bremsungen stets unterhalb von 10 %. In den letzten drei Blöcken treten reine Lenkungen in 70-80 % der Fälle auf. Kombinierte Reaktionen nehmen einen Anteil von 15-25 % ein. Die Erstreaktion der beiden Szenarien unterscheidet sich jedoch. In Szenario BL treten ausschließlich reine Lenkungen auf, wohingegen die Fahrer in Szenario L in 36 % der Fälle zusätzlich die Geschwindigkeit reduzieren und kombinierte Manöver durchführen.

Unter Berücksichtigung der einzelnen Szenarien zeigt sich als Einfluss der Erwartung auf die Reaktionsmuster folgendes Bild:

- Die Reaktionsmuster passen sich mit zunehmender Fahrdauer den Szenariobedingungen an. In den Bremsszenarien (B und FF) liegt der Anteil an reinen Bremsungen meist über 80 % und steigt während der Fahrt teilweise weiter an.
- Im Autobahnversuch ist der Lerneffekt in Szenario B besonders stark, da anfangs ein großer Anteil an reinen Lenkungen auftritt, der sich während der Dauer des Versuches mehr als halbiert. Im Ausgleich treten reine Bremsungen und kombinierte Reaktionen häufiger auf, die für Szenario B angemessener erscheinen.
- In den Lenkszenarien geht die Tendenz nach andauernder Versuchsdauer hin zu reinen Lenkungen und kombinierten Eingriffen, wohingegen die reinen Bremsreaktionen abnehmen oder wie bei der Autobahnfahrt konstant niedrig bleiben.

Fasst man diese Ergebnisse unter dem Aspekt des Kontexts zusammen, so wird in der Stadt weitgehend unabhängig vom Szenario eher gebremst und auf der Autobahn eher gelenkt. Auf der Landstraße entsprechen die Reaktionen von der Häufigkeit her dagegen relativ gut den Szenarien. Damit spielen neben den Ausweichmöglichkeiten und dem nötigen Bremsweg, was bei der Konstruktion der Szenarien in den Vordergrund gestellt wurde, wohl die Grundgeschwindigkeit und die dadurch bedingten unterschiedlichen verfügbaren Wege bzw. Zeiten eine große Rolle für die Entscheidung, welche Reaktion ausgeführt wird. Erwartungseffekte sind je nach Kontext und Szenario unterschiedlich, wobei sich insgesamt die Reaktionen ausdifferenzieren. Durch die kurzfristige Erfahrung mit unterschiedlichen kritischen Situationen werden damit auch Reaktionen gezeigt, die bei plötzlichem, unerwartetem Auftreten eher unwahrscheinlich sind. Interessant wäre, ob diese „Trainingseffekte“ auch längerfristig erhalten bleiben.

Für den Einfluss auf die Reaktionszeiten werden ebenfalls nur die Basisszenarien betrachtet (vgl. Tabelle 17), um den Gesamtverlauf der Reaktionszeiten besser interpretieren zu können. Aufgrund der sehr vergleichbaren Erwartungseffekte ist eine getrennte Darstellung für die einzelnen Szenarien nicht nötig. Der Effekt der Erwartungshaltung auf die Reaktionszeiten ist in der Folgefahrt sehr ähnlich zu den Basisszenarien, abgesehen von den

		Bremsreaktionen	Lenkreaktionen	Gasrücknahmen	Fußumsetzungen
Stadt	Block 0	22	14	22	19
	Block 1	117	21	112	107
	Block 2	89	40	82	77
	Block 3	91	39	78	75
	Block 4	75	52	57	52
Landstraße	Block 0	26	14	26	25
	Block 1	81	42	81	79
	Block 2	69	48	67	67
	Block 3	70	53	69	68
Autobahn	Block 0	6	37	6	6
	Block 1	36	89	36	33
	Block 2	34	94	32	31
	Block 3	47	81	45	45

Tab. 17: Anzahlen der gültigen Reaktionen pro Versuchskontext (Stadt, Landstraße, Autobahn) und Versuchsdurchgang (Blöcke 0-4). Die Reaktionen der Folgefahrten sind nicht enthalten

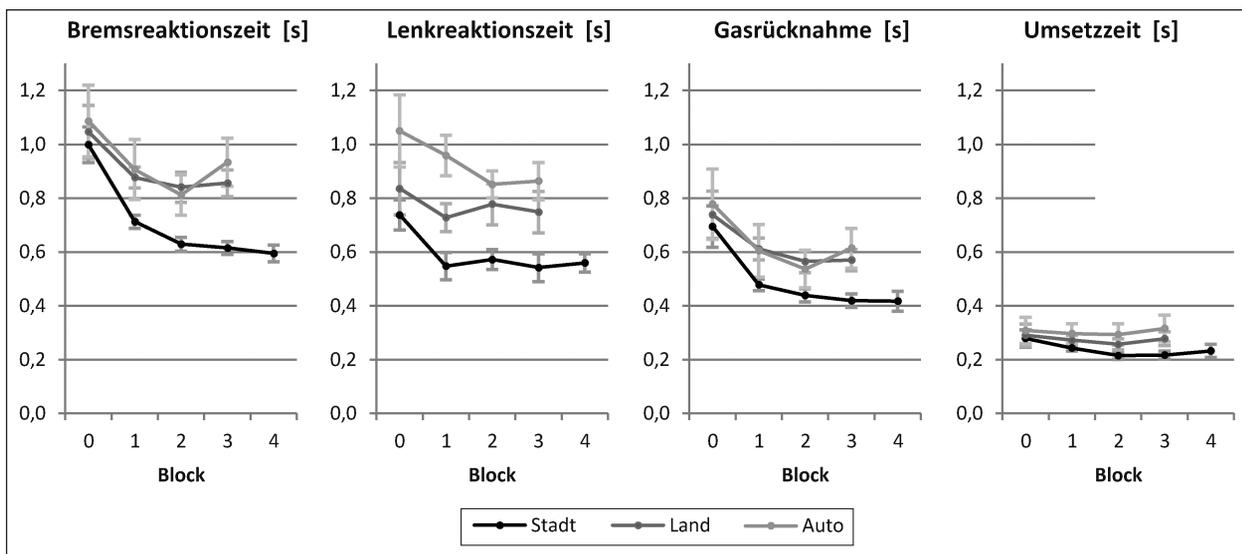


Bild 28: Dargestellt sind die Mittelwerte und deren 95%-Konfidenzintervalle der verschiedenen Reaktionszeiten, getrennt nach Versuchskontext (Stadt, Landstraße, Autobahn) und Versuchsdurchgang (Blöcke 0-4). Die Fallzahlen der entsprechenden Reaktionen sind Tabelle 17 zu entnehmen

insgesamt längeren Reaktionszeiten (vgl. Kapitel 8.2 Einfluss der Szenariotypen). Wie erwartet, zeigt sich für alle Versuchskontexte über die Blöcke hinweg eine Verkürzung der Reaktionszeiten (s. Bild 28). Bei den Umsetzzeiten ist dieser Effekt nur äußerst gering mit Differenzen von 15-62 ms zwischen den Blöcken. Am stärksten tritt der Lerneffekt bei den Bremsreaktionszeiten auf mit Reaktionszeitverkürzungen von bis zu 400 ms.

Der Gesamteffekt der Erwartung ist in der Stadt größer als in den anderen Kontexten, mit durchschnitt-

lichen Reaktionszeitverkürzungen von etwa 292 ms in der Stadt und durchschnittlichen 156 ms bzw. 238 ms auf der Landstraße bzw. Autobahn (s. Tabelle 18). Dieser Unterschied ist auf die Gestaltung der kritischen Ereignisse zurückzuführen. Während die Ereignisse in der Stadt immer in einem Einbahnstraßenabschnitt erfolgten, wurden sie in den anderen Kontexten in einem zufällig gewählten Abschnitt positioniert. Außerdem gab es im Landstraßen- und Autobahnkontext keine lokalen Hinweise darauf, wann genau ein Hindernis erscheint, da diese (außer bei der Folgefahrt) spontan auftauchten. Im

	Bremsreaktion	Lenkreaktion	Gasrücknahme	Fußumsetzung	MW (ohne Fußumsetzung)
Stadt	404 ms	196 ms	277 ms	62 ms	292 ms
Land	205 ms	87 ms	174 ms	34 ms	156 ms
Auto	274 ms	199 ms	241 ms	15 ms	238 ms

Tab. 18: Durchschnittliche Erwartungseffekte in den jeweiligen Reaktionszeiten, getrennt nach Versuchskontext

Stadtversuch führt die Erwartungshaltung daher zu einer präziseren Vorhersage darüber, wann das Ereignis eintritt, wohingegen in den andern beiden Kontexten eher eine diffuse Vorahnung herrscht, dass etwas passieren könnte. Das bestätigt die Annahme, dass auch bei der Teilnahme von Personen an mehreren Versuchen keine spezifische Erwartungshaltung über das Eintreten der kritischen Ereignisse aufgebaut wird.

Damit ist für den Einfluss der Erwartungen auf die Reaktionszeiten festzuhalten:

- Insgesamt zeigen sich erwartungsgemäß deutlich schnellere Reaktionszeiten, nachdem einmal eine kritische Situation erlebt wurde.
- Wenn das Auftreten des kritischen Ereignisses aus Merkmalen der Umwelt wie auf Autobahn und Landstraße schlecht vorherzusagen ist, fällt der Lerneffekt geringer aus.

9 Die Rolle der Aufmerksamkeit

Die visuelle Aufmerksamkeit spielt bei der Erkennung der kritischen Situationen eine wesentliche Rolle und beeinflusst vermutlich die Art der Reaktion und die Reaktionszeiten. Um dies näher zu untersuchen, wurden bei der Stadtfahrt im Simulator die Blickdaten der Fahrer aufgezeichnet. Die Messung erfolgte dabei nur im Rahmen der zweiten Strecke, da hier mehrere kritische Ereignisse pro Person auftraten. Aufgrund des hohen Aufwands war eine Messung auf Landstraße und Autobahn nicht möglich.

Nicht bei allen kritischen Ereignissen konnten alle Kennwerte eindeutig bestimmt werden, sodass sich fehlende Werte ergeben. Von insgesamt 46 Personen, die am Versuch teilnahmen, konnten 36 Videos in die Analyse eingeschlossen werden. Für zehn Personen lagen aufgrund des unscharfen Videobildes oder technischer Fehler bei der Aufzeichnung keine verwertbaren Blickdaten vor. Zudem ergeben sich in einzelnen Fällen fehlende Daten für die kritischen Ereignisse. Ursachen hierfür sind das Verrutschen des Blicksystems während der Fahrt, kurze

Ruckler in der Simulation oder nicht eindeutig codierbares Blickverhalten (insgesamt sechs Fälle). Außerdem wurden Fälle ausgeschlossen, bei denen das Blickverhalten stark vom Durchschnitt abwich, zum Beispiel bei sehr schnell und stark springenden Blicken oder vollkommen starren Blicken (insgesamt 21 Fälle). Insgesamt liegen Daten aus 549 kritischen Ereignissen von insgesamt 36 Personen vor. Im Folgenden werden zunächst die Ergebnisse zur Inter-Rater-Reliabilität dargestellt, um so die Güte der Beobachtung zu beurteilen. Es folgen dann die Ergebnisse zu den drei wesentlichen Ereignissen, der Blickrichtung vor, zu Beginn und nach dem kritischen Ereignis.

9.1 Inter-Rater-Reliabilität

Um die Reliabilität der Beobachtung zu prüfen, wurde ein Teil der Stichprobe von zwei Personen unabhängig voneinander codiert. Eine vollständige Überprüfung war aufgrund des hohen Aufwands für dieses Rating nicht möglich. Beide Rater erhielten zuvor eine Einweisung in die Blickanalysesoftware und darüber, welche Kennwerte relevant sind. Insgesamt wurden Daten von vier Personen (entspricht 64 Fällen) von beiden Ratern codiert. Die Datensätze wurden anhand der ersten Codierung so ausgewählt, dass sowohl Personen mit sehr aktivem Blickverhalten, als auch Personen mit eher geradeaus gerichtetem Blickverhalten berücksichtigt werden. Auf diese Weise wurde sichergestellt, dass auch extremere aber tendenziell seltenere Blickverhaltensweisen bei der Prüfung der Inter-Rater-Reliabilität betrachtet werden.

Die zeitliche Auflösung des Videos beträgt 40 ms (entspricht einem Bild bei 25 Hz Bildwiederholrate des Videos). Setzt man die mittleren Differenzen der beiden Rater dazu ins Verhältnis, zeigt sich eine sehr hohe Übereinstimmung in den beiden Codierungen. Wie in Tabelle 19 zu sehen ist, weichen die codierten Zeitpunkte, wann der Fußgänger die Straße betritt bzw. wann er vom Fahrer fixiert wird, zwischen den Ratern im Schnitt um weniger als ein Videobild von einander ab (26 ms bzw.

Kennwert	Mittlere Differenz (SD)	Anteil an exakt gleichen Codes
FG wird sichtbar	26 ms (35 ms)	54.7 %
Blickrichtung beim Erscheinen FG	-	90.6 %
FG wird fixiert	29 ms (87 ms)	81.3 %
Blickzuwendungszeit	47 ms (87 ms)	48.4 %
Blick in den Ausweichraum	-	95.3 %

Tab. 19: Abweichungen in den ermittelten Blickkennwerten zwischen den beiden Videoratern. 40 ms entsprechen einem Videobild

29 ms). Der Anteil der Fälle, in denen beide Rater exakt den gleichen Zeitpunkt codiert haben beträgt 54.7 % (bzw. 81.3 %). Für die Blickzuwendungs-dauer ergibt sich eine mittlere Differenz von 47 ms, also etwa ein Videobild. Die codierten Blickrichtungen beim Erscheinen des Fußgängers stimmen in 90.6 % der Fälle überein. Das Urteil darüber, ob die Fahrer während der Fahrt in den Ausweichraum geschaut haben, gleicht sich in 95.3 % der Fälle. Damit ergibt sich insgesamt eine sehr hohe Übereinstimmung und damit eine sehr gute Reliabilität der Messung.

9.2 Blick vor kritischem Ereignis

Vor dem kritischen Ereignis wurden Zeiträume von 0.5 Sekunden und 5 Sekunden betrachtet, um die Verteilung der durchschnittlichen Blickzuwendungs-dauern kurz und unmittelbar vor dem Ereignis über definierte Bereiche des Sichtfeldes hinweg zu untersuchen. Es zeigt sich, dass in dem Zeitraum 5 Sekunden vor dem Ereignis die Blickverteilungen in den drei Basisszenarien B, L und BL nahezu identisch sind (s. Bild 29). Die Fahrer schauen zu etwa 40-50 % nach vorn in die Mitte der Straße. Jeweils etwa 43 % der Zeit schauen die Fahrer in die Bereiche links und rechts von der Straße, wo sich die parkenden Autos befinden. Der Tacho wird im Schnitt etwa 10 % der Zeit fixiert. Der Innenspiegel wird während der Fahrt nicht fixiert. Dies ist möglicherweise durch das städtische Szenario bedingt, in dem der hintere Verkehr für die eigene Fahrt wenig Relevanz hat, da Fahrstreifenwechsel nicht beabsichtigt waren. Bei den Blicken zur Seite zeigen sich zwei interessante Effekte. Zum einen tendieren die Fahrer dazu, eher in den rechten Bereich neben der Straße zu schauen (siehe Bild 29 links). Das erscheint plausibel, da bei einem Fußgänger, der von rechts die Fahrbahn betritt, in der Regel sofort eine Kollisionsgefahr besteht, wohingegen ein von links kommender Fußgänger zunächst den Gegenfahr-

streifen überqueren muss. Andererseits schauen die Fahrer bevorzugt in die Richtung, aus der der Fußgänger kommt (siehe Bild 29 rechts). Es sei angemerkt, dass die Häufigkeit ausgeglichen ist, mit welcher der Fußgänger von rechts oder von links kommt. Eine genauere Analyse der einzelnen Szenarien zeigt, dass die Fahrer verstärkt in Richtung des Fußgängers schauen, wenn dieser rechts erscheint. Wenn der Fußgänger links erscheint, schauen die Fahrer fast gleichhäufig nach links und rechts. Vermutlich richten die Fahrer ihr Blickverhalten an potenziellen Gefahrenquellen aus, beispielsweise große parkende Fahrzeuge, die Passanten verdecken könnten. Befinden sich diese potenziellen Gefahrenquellen rechts, wird die Rechts-Tendenz verstärkt, befinden sie sich links, teilen sich die Blicke in beide Richtungen auf.

Während der Folgefahrt schauen die Fahrer erwartungsgemäß deutlich häufiger nach vorn (etwa 75 % der Zeit), da sich hier das vorrausfahrende Fahrzeug befindet. Die durchschnittliche Fixationsdauer auf den Tacho bleibt unverändert bei knapp über 10 %. Entsprechend geringer ist der Anteil an Blicken im rechten und linken Bereich der Straße (6-8 %). Die Tendenz nach rechts ist bei der Folgefahrt nicht vorhanden.

Betrachtet man das Intervall 0.5 Sekunden vor dem Ereignis, fällt auf, dass sich die Blickverteilung bei der Folgefahrt kaum ändert. Die Fahrer schauen auch hier hauptsächlich in die Mitte der Straße, wo sich das vorrausfahrende Fahrzeug befindet (s. Bild 30). Die übrigen Blicke verteilen sich mit relativ gleichmäßigen Anteilen von 5-10 % auf den linken und rechten Fahrbahnrand und auf den Tacho. Es zeigen sich aber auch teilweise andere Effekte. In den drei Basisszenarien zeigt sich nicht die Blicktendenz nach rechts wie in dem 5-Sekundenintervall. Stattdessen zeigen sich deutliche Erwartungseffekte. In den ersten beiden Blöcken ist die Erwartungshaltung noch vergleichsweise gering. Die Blicke gehen im Brems-

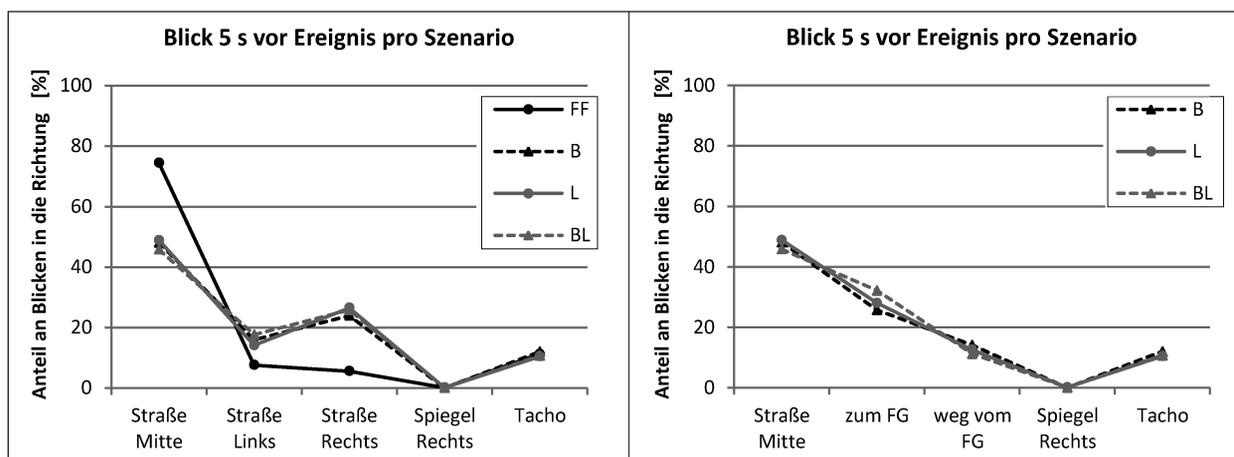


Bild 29: Verteilungen der Blicke über die codierten Bereiche hinweg 5 Sekunden vor dem kritischen Ereignis, getrennt nach Szenariotyp. Seitenblicke wurden einmal in Bezug auf die Straße ausgewertet (links) und einmal in Bezug auf die Richtung des Fußgängers (rechts). Die Fußgänger kamen gleich oft von links und rechts. In der Folgefahrt gab es keinen Fußgänger. (FG Fußgänger)

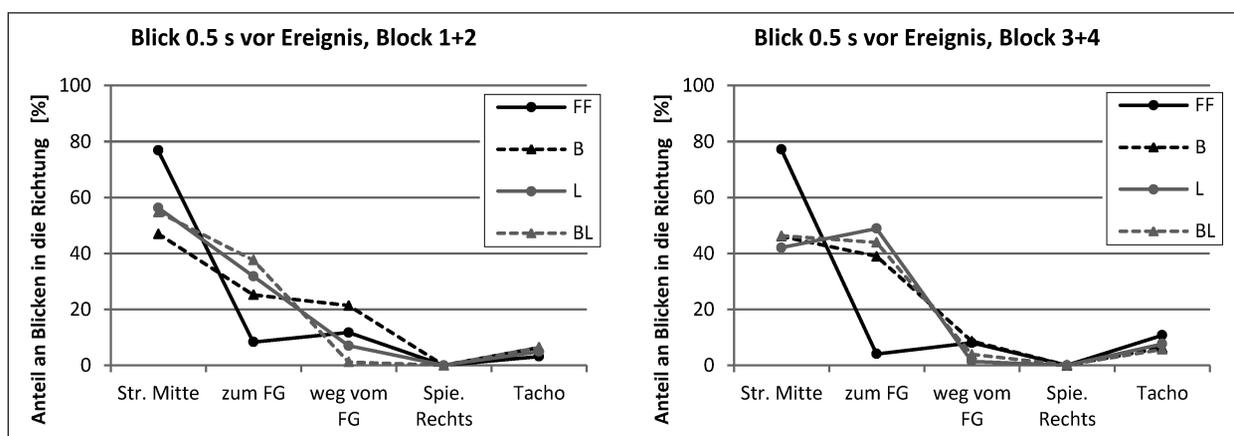


Bild 30: Verteilungen der Blicke über die codierten Bereiche hinweg 0.5 Sekunden vor dem kritischen Ereignis, getrennt nach Szenariotyp und Erwartungshaltung. Seitenblicke wurden in Bezug auf die Richtung des Fußgängers ausgewertet. Die Fußgänger kamen gleich oft von links und rechts. In der Folgefahrt gab es keinen Fußgänger. „Zum FG“ entspricht hier „Blick nach links“, „weg vom FG“ entspricht „Blick nach rechts“ (FG Fußgänger)

szenario nicht systematisch in Richtung Fußgänger (zum Fußgänger: 25 %, vom Fußgänger weg: 21 %). In den letzten beiden Blöcken haben die Fahrer anscheinend gelernt, die Umgebung genauer auf Hinweise zu untersuchen (z. B. große Transportfahrzeuge, die den Fußgänger verdecken könnten) und schauen deutlich häufiger zum Fußgänger (zum Fußgänger: 39 %, vom Fußgänger weg: 9 %). In den Lenkszenarien L und BL schauen die Fahrer schon zu Beginn der Fahrt deutlich seltener in den Ausweichraum (L: 7 %, BL: 1 %) und dementsprechend etwas häufiger in Richtung der parkenden Autos von wo am ehesten ein plötzliches Hindernis auftauchen könnte (L: 32 %, BL: 38 %). In den späteren Versuchsdurchgängen verstärkt sich der Effekt weiter (L: 49 %, BL: 44 %). Die Tendenz nach rechts zu schauen ist in dem Intervall 0.5 Sekunden vor dem

Ereignis nicht vorhanden, was darauf hindeutet, dass potenziell gefährliche Situationen kurz zuvor erkannt werden und die Aufmerksamkeit entsprechend darauf gerichtet wird.

Betrachtet man die Blickrichtung vor dem Ereignis und die vom Fahrer durchgeführten Manöver zeigt sich im Zeitintervall fünf Sekunden vor dem Ereignis kein systematischer Zusammenhang (s. Bild 31). Die zeitlichen Anteile der fixierten Bereiche liegen für alle Reaktionstypen etwa auf einem Niveau.

Betrachtet man hingegen das Intervall 0.5 Sekunden vor dem Ereignis, zeigen sich deutlichere Unterschiede in den Blickverteilungen. Außerdem liegt auch hier ein Erwartungseffekt vor (s. Bild 32, links und rechts). Vor den reinen und kombinierten Lenkreaktionen in den ersten beiden

Versuchsdurchgängen zeigen die Fahrer sehr vergleichbare Blickverteilungen. Dabei schauen die Fahrer deutlich häufiger als bei reinen Bremsungen in die Richtung, aus der der Fußgänger kommen wird (Lenkreaktionen: 43 %, reine Bremsung: 20 %). Entsprechend geringer fällt bei den Lenkreaktionen der Anteil an Blicken in die übrigen Bereiche aus (Straßenmitte: 9 % weniger, weg vom Fußgänger: 10 % weniger, Tacho: 3 % weniger).

Durch die stärkere Erwartungshaltung in den letzten beiden Durchgängen zeigt sich ein noch differenzierteres Bild der Blickverteilungen über die Reaktionstypen hinweg. Für die Blicke zum Fußgänger zeigt sich ein Zusammenhang mit den Lenkreaktionen. Der Anteil der Blicke zum Fußgänger ist am größten bei den reinen Lenkungen (65 %), gefolgt von den Lenk-Brems-Reaktionen

(45 %), wiederum gefolgt von den Brems-Lenk-Reaktionen und reinen Bremsungen (jeweils 31 %). Direkt umgekehrt verhält es sich mit den Blicken in die Straßenmitte.

Zusammenfassend lassen sich diese Ergebnisse wie folgt interpretieren:

- Fahrer zeigen mit Ausnahme der Folgefahrt die Tendenz, den rechten Straßenrand während der Fahrt genauer zu beobachten. Diesem Effekt steht gegenüber, dass potenziell gefährliche Situationen schon früh erkannt werden. Je nachdem, ob ein Hindernis rechts oder links erscheint schauen die Fahrer verstärkt nach rechts auf die Gefahrenstelle oder teilen die Aufmerksamkeit gleichmäßig auf den rechten Straßenrand und der Gefahrenstelle links auf.

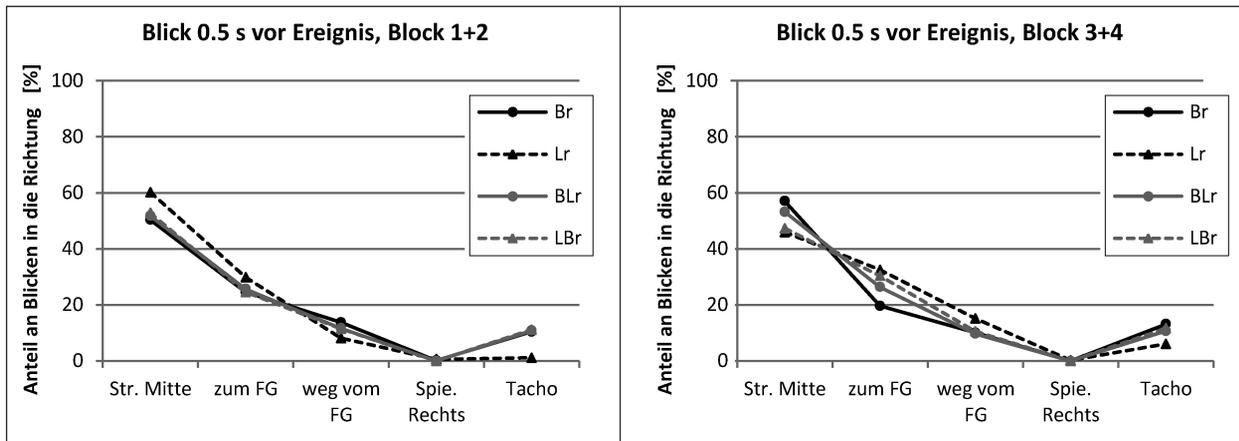


Bild 31: Verteilungen der Blicke über die codierten Bereiche hinweg 5 Sekunden vor dem kritischen Ereignis, getrennt nach ausgeführtem Fahrmanöver und Erwartungshaltung. Seitenblicke wurden in Bezug auf die Richtung des Fußgängers ausgewertet. (FG Fußgänger, Br reinen Bremsung, Lr reine Lenkung, BLr Brems-Lenk-Reaktion, LBr Lenk-Brems-Reaktion)

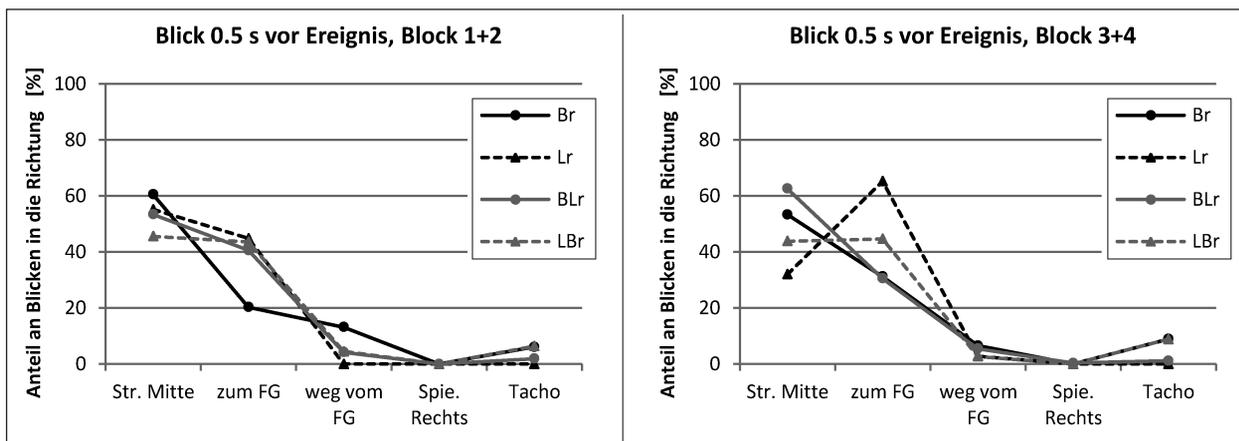


Bild 32: Verteilungen der Blicke über die codierten Bereiche hinweg 5 Sekunden vor dem kritischen Ereignis, getrennt nach ausgeführtem Fahrmanöver und Erwartungshaltung. Seitenblicke wurden in Bezug auf die Richtung des Fußgängers ausgewertet. (FG Fußgänger, Br reinen Bremsung, Lr reine Lenkung, BLr Brems-Lenk-Reaktion, LBr Lenk-Brems-Reaktion)

- Mit zunehmender Erfahrung schauen die Fahrer kurz vor dem Ereignis häufiger auf die potenzielle Gefahrenstelle.
- Beim Auftauchen eines plötzlichen Hindernisses (Fußgängers) gehen Ausweichreaktionen häufiger Blicke voraus (innerhalb einer halben Sekunde vor dem Ereignis), bei denen zumindest teilweise der rechte oder linke Fahrbahnrand fixiert wird.

Dies könnte so interpretiert werden, dass in einer solch kritischen Situation eine Ausweichreaktion wahrscheinlicher wird, wenn der Fahrer unmittelbar vorher Informationen darüber aufgenommen hat, inwieweit ein genügender Ausweichraum vorhanden ist.

9.3 Blick zu Beginn des kritischen Ereignisses

Im Moment des kritischen Ereignisses ähnelt die Verteilung der Blickrichtung über die Szenarien hinweg der Verteilung im Intervall 0.5 Sekunden vor dem Ereignis. Die einzelnen Verteilungen pro Szenario sind Bild 33 zu entnehmen.

Wie erwartet werden die Reaktionszeiten von den Blickrichtungen beeinflusst. Am längsten sind die Reaktionen, wenn die Fahrer ihren Blick von der Straße abwenden und auf den Tacho schauen (s. Bild 34). Die Zeiten sind mit etwa 660-940 ms etwa 220-310 ms langsamer als die schnellsten Reaktionen, die dann auftreten, wenn die Fahrer in Richtung des kritischen Ereignisses schauen. Nur

wenig langsamer sind die Reaktionen, wenn in die Mitte der Straße oder auf den Straßenrand gegenüber der Gefahrenquelle geschaut wird. Die Umsetzzeiten sind von den Effekten nicht betroffen, das heißt, die Blickzuwendungszeit verzögert gegebenenfalls nur den Beginn der Reaktion nicht aber deren Verlauf.

- Dieses Ergebnis kann damit als Beleg für die negative Wirkung visueller Ablenkung interpretiert werden. Wenn der Fahrer gerade dann zum Tacho schaut, wenn ein Hindernis auftaucht, verzögert sich dadurch die Erkennung und dies führt zu einer verlängerten Reaktionszeit.

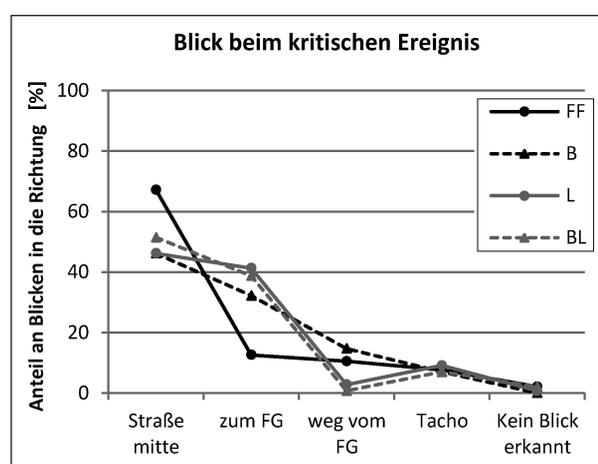


Bild 33: Verteilungen der Blicke über die codierten Bereiche hinweg beim Erscheinen des kritischen Ereignisses, getrennt nach Szenariotyp. Seitenblicke wurden in Bezug zur Richtung des Fußgängers ausgewertet. Die Fußgänger kamen gleich oft von links und rechts. In der Folgefahrt gab es keinen Fußgänger. „Zum FG“ entspricht hier „Blick nach links“, „weg vom FG“ entspricht „Blick nach rechts“ (FG Fußgänger)

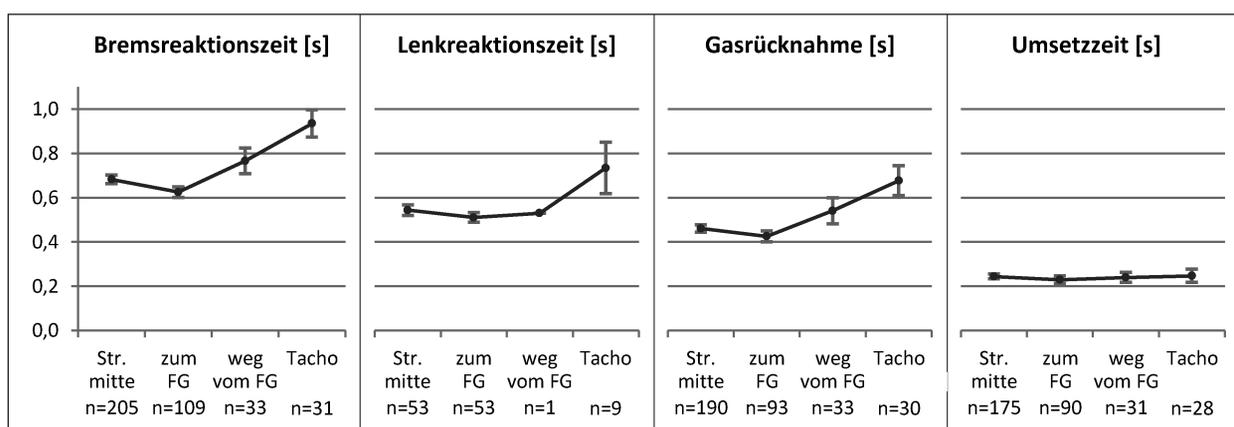


Bild 34: Dargestellt sind die Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle der jeweiligen Reaktionszeiten in Abhängigkeit von der Blickrichtung des Fahrers beim Erscheinen des kritischen Ereignisses, sowie die Fallzahlen der gültigen Reaktionen (FG Fußgänger)

9.4 Blick nach dem kritischen Ereignis

Die Blickzuwendungszeiten geben an, wie viel Zeit vom Sichtbarwerden des Fußgängers bis zum Fixieren des Fußgängers vergeht. Im Szenario FF

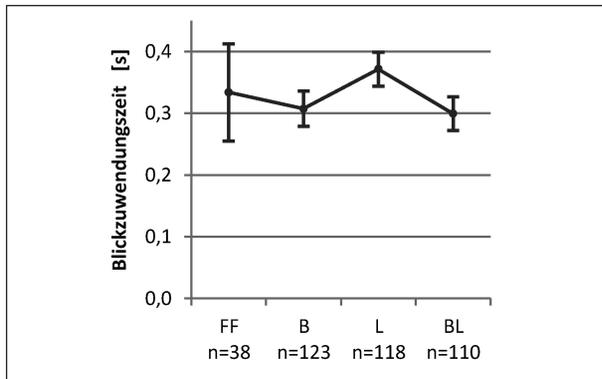


Bild 35: Blickzuwendungszeiten vom Erscheinen des Fußgängers bis zur Fixation des Fußgängers pro Szenario. Dargestellt sind Mittelwerte und deren 95%-Konfidenzintervalle, sowie die Fallzahlen der gültigen Blickzuwendungen

bezieht sich diese Zeit auf das Aufleuchten der Bremslichter des vorrausfahrenden Fahrzeugs. Bei der Folgefahrt werden nur Fälle betrachtet in denen der Blick beim Aufleuchten der Bremslichter noch nicht auf das Fahrzeugheck gerichtet war.

Die durchschnittlichen Blickzuwendungszeiten sind in Bild 35 dargestellt und liegen im Bereich von etwa 300 ms (Szenario B und BL) bis etwa 370 ms (Szenario L). Da der Abstand zum Fußgänger in Szenario L kleiner ist als in Szenario B und BL, befindet sich der Fußgänger im Moment seines Erscheinens weiter in der Peripherie des Sichtfeldes, wodurch die etwas längeren Blickzuwendungszeiten erklärt werden können.

Die Blickzuwendungszeiten zeigen erwartungsgemäß Zusammenhänge mit den Reaktionszeiten der Fahrkennwerte (vgl. Bild 36). Die Korrelationskoeffizienten liegen im Bereich von $r = 0.27$ (Bremsreaktionszeit) bis $r = 0.45$ (Lenkreaktionszeit). Die Pedalumsetzzeiten zeigen wie schon zuvor keinen Zusammenhang mit dem Blickverhalten ($r = -0.04$, $p = 0.49$).

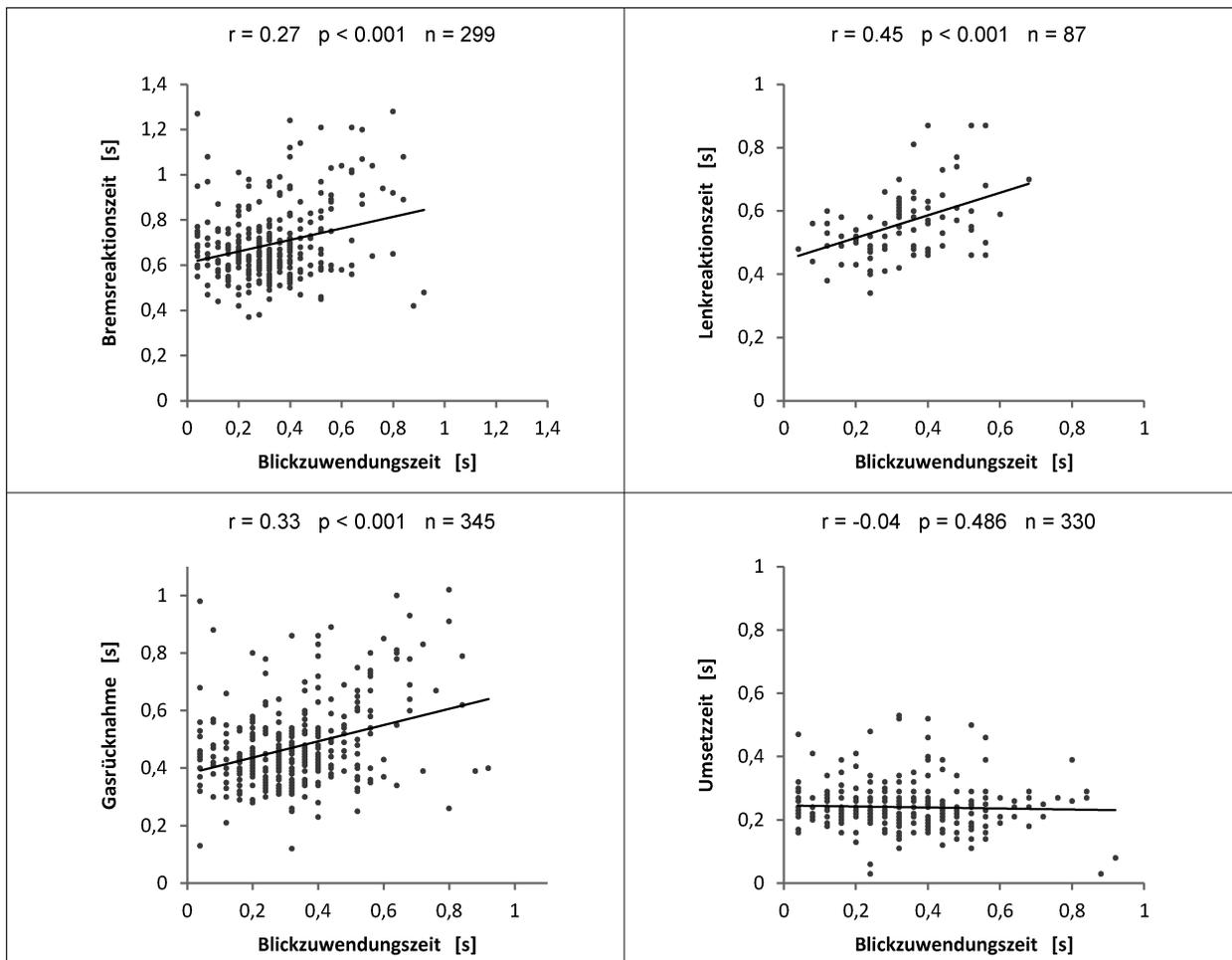


Bild 36: Zusammenhänge der jeweiligen Fahrreaktionszeiten mit der Blickzuwendungszeit des Fahrers

Auch das Blickverhalten während des Fahrmanövers zeigt einen Zusammenhang mit dem Fahrverhalten. Besonders relevant ist hierbei die Frage, ob der Fußgänger durchgehend fixiert wird, oder ob die Fahrer während des Fahrmanövers auch andere Bereiche des Sichtfeldes absuchen, um gegebenenfalls Ausweichmöglichkeiten zu finden. Hierfür wurden Fixationen codiert, die nach der ersten Fixation des Hindernisses und vor dem Passieren des Hindernisses bzw. vor dem Stillstand des Fahrzeugs auftraten und nicht auf das Hindernis gerichtet waren. In den meisten Fällen wurde der Fußgänger bzw. das Vorderfahrzeug über die gesamte Dauer des Manövers fixiert (s. Tabelle 20). In einigen Fällen zeigen sich auch deutliche Blickzuwendungen zum Rand der Straße hin die zum Teil von entsprechenden Ausweichmanövern begleitet werden. Außerdem wurden auch leichte Ausweichblicke codiert, bei denen das Hindernis nach kurzer Zeit (80-160 ms) wieder fixiert wird oder sich der Blick nur wenig vom Hindernis entfernt, um beispielsweise den Raum direkt vor oder hinter dem Fußgänger zu fixieren.

Je nach Szenario zeigt sich dabei ein anderes Blickverhalten (s. Bild 37, links). Erwartungsgemäß zeigt sich in der Folgefahrt kein Ausweichblick, da

die Fahrbahnränder mit parkenden Autos blockiert sind und das vorausfahrende Fahrzeug die ganze Fahrbahnbreite einnimmt. Da der Fußgänger schmaler ist, wird im Szenario B in 6 % der Fälle der Raum um den Fußgänger herum nach Ausweichmöglichkeiten abgesucht. In den beiden Lenkszenarien (L und BL) steigt dieser Anteil auf 17 bzw. 20 % und es zeigen sich in 8 % (bzw. 13 %) der Fälle leichte Ausweichblicke.

Damit gehen unterschiedliche Fahrmanöver einher. Während der reinen Bremsmanöver zeigen sich keine Ausweichblicke (s. Bild 37, rechts). Bei den reinen Lenkmanövern hingegen zeigen sich in 76 % der Fälle deutliche Ausweichblicke und nur in 5 % der Fälle wird das Hindernis durchgehend fixiert. Das Blickverhalten in den kombinierten Manövern ordnet sich zwischen denen in den beiden reinen Reaktionen ein. Deutliche Ausweichblicke treten in etwa 25 % der Fälle auf und in 51-67 % der Fälle wird das Hindernis durchgehend fixiert.

Untersucht man den Zusammenhang von der Seite der Blickrichtung aus, so finden sich bei Ereignissen, in denen kein Ausweichblick stattfindet, knapp 62 % reine Bremsreaktionen. Sobald leichte oder

		Kein Ausweichblick	Leichter Ausweichblick	Deutlicher Ausweichblick	Gesamt
Manövertyp	Br	111	0	0	111
	Lr	1	4	16	21
	BLr	28	4	10	42
	LBr	40	19	20	79
Gesamt		180	27	46	253

Tab. 20: Blickrichtung während des Fahrmanövers (Br reine Bremsreaktion, Lr reine Lenkreaktion, BLr Brems-Lenk-Reaktion, LBr Lenk-Brems-Reaktion)

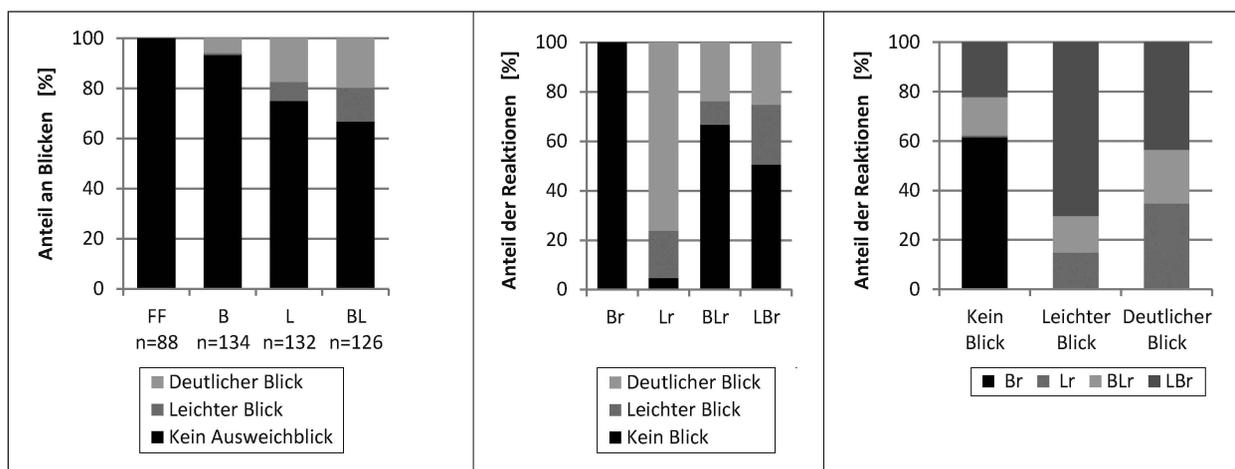


Bild 37: Blickrichtung während des Fahrmanövers getrennt nach Szenariotyp (links) und getrennt nach gewähltem Fahrmanöver (rechts; Br reine Bremsreaktion, Lr reine Lenkreaktion, BLr Brems-Lenk-Reaktion, LBr Lenk-Brems-Reaktion)

deutliche Ausweicheblicke auftreten, treten keine reinen Bremsreaktionen mehr auf, sondern vor allem kombinierte Lenk-Brems-Reaktionen (bei leichten Ausweicheblicken) bzw. auch vermehrt reine Lenkreaktionen bei deutlichen Ausweicheblicken. Da die zeitliche Abfolge nicht analysiert werden konnte, könnte dies in beide Richtungen interpretiert werden: Wenn Fahrer ausweichen, fixieren sie auch die entsprechenden Bereiche neben dem kritischen Objekt. Oder Fahrer fixieren Bereiche neben dem kritischen Objekt, um Ausweichen zu können.

Insgesamt zeigen sich damit deutliche Zusammenhänge zwischen dem Blickverhalten und der Reaktion auf das plötzliche Auftauchen auf ein Hindernis (einen Fußgänger). Fast trivial erscheint der Nachweis, dass sich die Reaktionszeit um etwa 250 ms verlängert, wenn der Fahrer beim Auftauchen des Hindernisses durch einen Tachoblick visuell abgelenkt war. Wesentlich interessanter sind die Zusammenhänge zwischen der Blickverteilung und der Art der Reaktion, die die starke Abhängigkeit zwischen visueller Aufmerksamkeit und Reaktionsauswahl bestätigen. Bei einer reinen Bremsreaktion war die Aufmerksamkeit vor dem Auftauchen des kritischen Ereignisses auf die Mitte der Fahrbahn konzentriert. Wenn auch Bereiche rechts oder links der Mitte fixiert worden waren, werden Lenkmanöver und kombinierte Manöver wahrscheinlicher. Auch nach dem Auftauchen des Hindernisses gehen Blicke weg vom Hindernis einher mit Ausweichmanövern, während ein Fixieren des Hindernisses mit einer reinen Bremsreaktion gemeinsam auftritt. Damit zeigen sich einerseits Hinweise, dass durch ein breiteres visuelles Absuchen der Fahrumgebung alternative Handlungsweisen zum reinen Bremsen ermöglicht werden. Andererseits scheint die Fixation der Handlungsumgebung auch bei der Ausführung wichtig zu sein. Die Bedeutung der Informationsaufnahme zeigt sich auch in den Zusammenhängen zwischen Fixationszeiten und Reaktionszeiten: Je schneller das Hindernis fixiert wird, umso schneller wird eine Reaktion ausgelöst. Um möglichst adäquate und schnelle Reaktionen zu erhalten, sind somit folgende Aspekte wichtig:

- Eine breite Informationssuche, um bei einer möglichen kritischen Situation ein Situationsverständnis zu haben, das unterschiedliche Reaktionen (Lenken, Bremsen) ermöglicht.
- Eine Vermeidung visueller Ablenkung, selbst durch so kurze Ablenkungen wie der Blick auf den Tacho.

- Eine möglichst schnelle Fixation des kritischen Objekts.
- Weitere Fixationen auf die Umgebung, um alternative Handlungsmöglichkeiten zu finden.

10 Ergebnisse – Personeneigenschaften

In den vorherigen Kapiteln wurde das Reaktionsverhalten hinsichtlich der Beeinflussung durch situative Faktoren während der Fahrt betrachtet. Eine weitere wesentliche Einflussgröße liegt möglicherweise in den Eigenschaften des Fahrers. Im Rahmen des vorliegenden Projekts wurde zunächst die generelle Reaktionsfähigkeit untersucht, da physiologisch bedingte Unterschiede als wesentliche Bedingung der aktuellen Fahrerleistungsfähigkeit gesehen werden (z. B. FULLER, 2005). Gleiches gilt für Personeneigenschaften, wo das Bedürfnis nach stimulierenden Situationen bzw. das Merkmal „Sensation Seeking“ (ZUCKERMAN, 1979) untersucht wurde, da sich in der Literatur immer wieder Zusammenhänge zum Unfallrisiko zeigten (für einen Überblick s. HERZBERG & SCHLAG, 2003). Weiter wird untersucht, welche Rolle Fahrerfahrung und Fahrstil für das Reaktionsverhalten spielen.

10.1 Wiener Testsystem

Mit dem Wiener Testsystem (s. <http://www.schuhfried.at/wiener-testsystem-wts/>) werden verschiedene Aspekte der Reaktionsfähigkeit von Personen unterschieden, wobei die Annahme ist, dass es sich dabei um eine überdauernde Eigenschaft der Person handelt, sodass dies zum Beispiel für eine Aussage über die generelle Fahreignung wichtig ist. Ein wesentlicher Aspekt dafür ist sicherlich, dass die Fahrer in der Lage sind, so schnell zu reagieren, dass Unfälle vermieden werden können. Die vorliegende Simulatorstudie bot die Möglichkeit, diesen Aspekt der Validität des Wiener Testsystems in Bezug auf eine realistische kritische Situation zu untersuchen. Es geht also darum, ob die Ergebnisse der durchgeführten Tests mit der Art und insbesondere der Geschwindigkeit der hier untersuchten Reaktionen zusammenhängen.

Im Rahmen des Stadtversuches im Simulator führte jede Person den Determinationstest (DT, Version S1) und den Reaktionstest (RT, Version S3) des

Wiener Testsystems durch. In diesen Tests wird erfasst, wie gut die Probanden in der Lage sind, korrekt auf verschiedene Reize zu reagieren (DT) und wie schnell sie reagieren können (RT). Durch die Verwendung einer Ruhe- und einer Reaktionstaste werden Reaktionszeit (Weggehen von der Ruhetaste) und motorische Geschwindigkeit (Umsetzzeit) im RT getrennt analysiert. Dies entspricht damit der Gasrücknahmezeit und Umsetzzeit in den Fahrversuchen.

Der Determinationstest gibt für jede Person normierte Testwerte aus, die angeben, wie oft auf die dargebotenen Reize richtig, falsch oder gar nicht reagiert wurde. Außerdem kann aus den Rohwerten für jede Person der Anteil richtiger Reizantworten berechnet werden. Damit würde man hier vor allem Zusammenhänge mit der Art der Reaktionen (Lenken und oder Bremsen) erwarten. Der Reaktionstest erlaubt eine getrennte Analyse der Testwerte für die Zeit bis zum Reaktionsbeginn und der Zeit, die für die motorische Handlung benötigt wird. Hier würde man Zusammenhänge zu den Reaktionszeiten in den kritischen Situationen erwarten.

Die jeweiligen Ergebnisse der beiden Tests werden analog zu den vorangegangenen Abschnitten sowohl hinsichtlich ihres Zusammenhangs zu den Reaktionsmustern (Br, Lr, kombinierte Reaktion, keine Reaktion), als auch zu den Reaktionszeiten (Bremsreaktion, Lenkreaktion, Gasrücknahme, Fußumsetzung) betrachtet.

Um die Zusammenhänge mit den Reaktionsmustern zu untersuchen, wurden anhand der Testleistungen Extremgruppen gebildet. Dies erschien sinnvoll, da es sich auch bei den Mustern um ein kategorielles Merkmal handelt. Dabei wurden die Personen mit den jeweils 20 % schlechtesten und

besten Testergebnissen hinsichtlich ihrer Reaktionsmuster über die Ereignisse der gesamten Fahrt hinweg verglichen. Die Kriterien für die Bildung der einzelnen Extremgruppen, deren Größe und die jeweiligen Fallzahlen gültiger Reaktionen sind in Tabelle 21 dargestellt. Die Gruppenzugehörigkeit einer Person kann je nach Kriterium unterschiedlich sein.

Zwischen den Extremgruppen des Determinationstests zeigen sich keine deutlichen Unterschiede in den Häufigkeitsverteilungen der Reaktionen mit maximalen Unterschieden von 9 % (Anzahl richtiger Reaktionen) bzw. 7 % (Anzahl falscher Reaktionen) zwischen den gezeigten Fahrerreaktionen (siehe die linken beiden Abbildungen in Bild 38). Zwischen den Extremgruppen des Reaktionstests (siehe die rechten beiden Abbildungen in Bild 38) zeigen sich stärkere Unterschiede (Reaktionszeit: $X^2_{4, 188} = 12.54$, $p = 0.01$; motorische Zeit: $X^2_{4, 187} = 29.87$, $p < 0.001$). Bei den Personen, die besonders schnelle Reaktions- bzw. motorische Zeiten aufweisen, zeigt sich ein etwa 24 % höherer Anteil an kombinierten Reaktionen (für die Reaktionszeit) bzw. reinen Lenkreaktionen (für die motorische Umsetzzeit). Gleichzeitig treten reine Bremsungen entsprechend seltener auf. Möglicherweise haben Fahrer mit schnellem Reaktionsvermögen damit mehr Potenzial, um in zeitkritischen Situationen adäquater auf die Umgebung zu reagieren und nicht nur reine Bremsungen durchzuführen.

Im zweiten Schritt ging es darum, inwieweit sich Zusammenhänge zwischen den Ergebnissen des WTS und den Reaktionszeiten zeigen lassen. Zu diesem Zweck wurden Korrelationen zwischen den jeweiligen Testwerten des DT bzw. RT und den Reaktionszeiten berechnet. Aufgrund der starken Erwartungseffekte bei der Fahrstudie wurde

			Gruppengröße	Gültige Reaktionen
DT	Anzahl richtiger Reaktionen	„Wenig richtig“ (T-Wert < 50)	9	109
		„Viel richtig“ (T-Wert > 65)	8	103
	Anzahl falscher Reaktionen	„Viel falsch“ (T-Wert < 34)	7	87
		„Wenig falsch“ (T-Wert > 51)	9	114
RT	Reaktionszeit	„Langsam (Reaktion)“ (T-Wert < 47)	8	101
		„Schnell (Reaktion)“ (T-Wert > 58)	7	87
	Motorische Zeit	„Langsam (motorisch)“ (T-Wert < 50)	8	98
		„Schnell (motorisch)“ (T-Wert > 66)	7	89

Tab. 21: Zuordnungskriterien, Gruppengröße und Anzahl der gültigen Reaktionen der einzelnen Extremgruppen, die anhand der Testergebnisse des WTS gebildet wurden

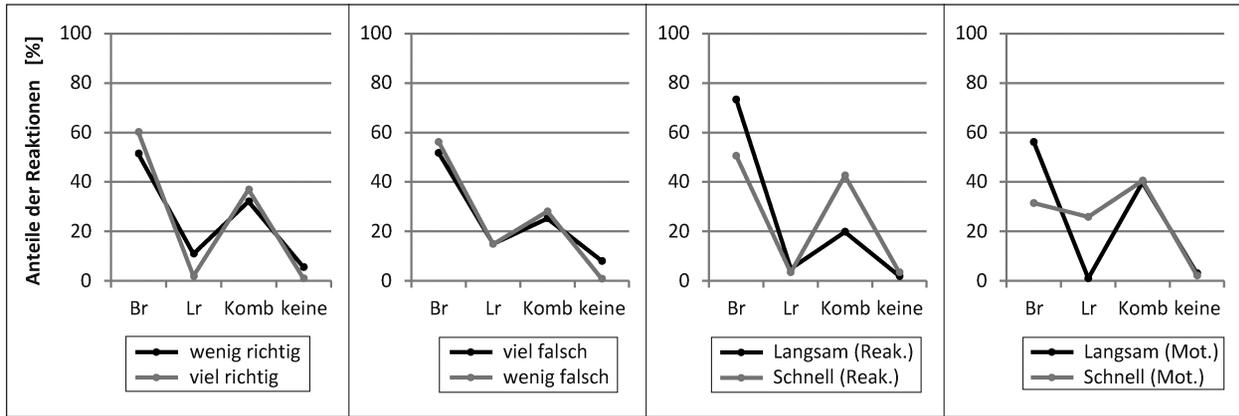


Bild 38: Unterschiede in den Reaktionsmustern von Fahrern mit hohem und niedrigem Testergebnissen im WTS. Die Kenndaten zu den Extremgruppen sind in Tabelle 21 dargestellt

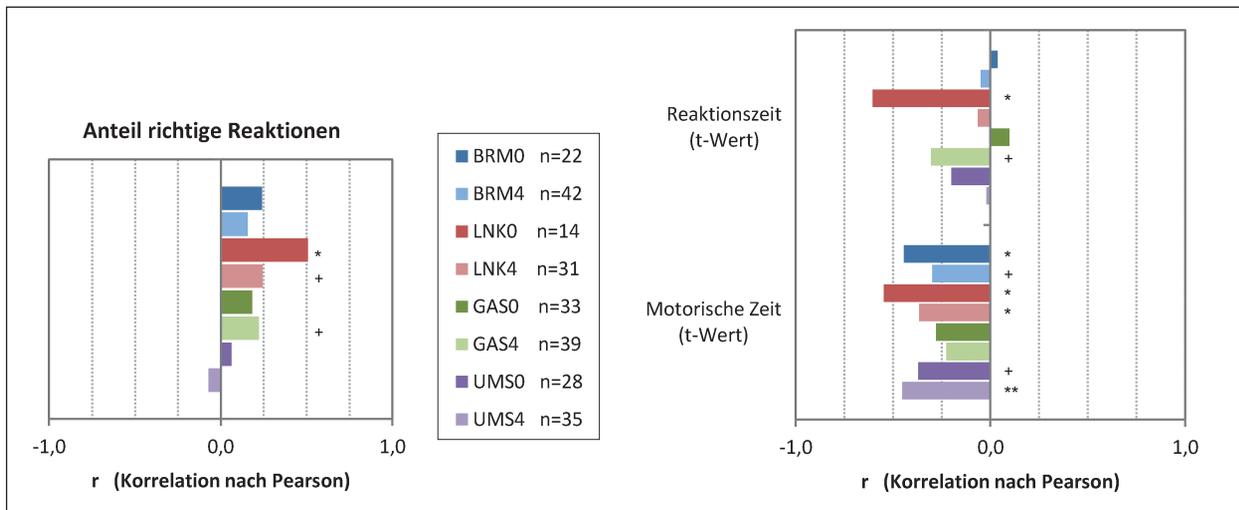


Bild 39: Zusammenhänge der Reaktionszeiten während der Fahrt mit dem Anteil der richtigen Reaktionen im DT (links) und den Indizes der Reaktionszeit und motorischen Zeit aus dem RT (rechts). Signifikante Korrelationen sind markiert (+ = $p < .10$ * = $p < .05$ ** = $p < .01$). Die Stichprobengröße bezieht sich hier auf die Anzahl der Probanden

den die Reaktionszeiten getrennt für den ersten und den letzten Block ausgewertet. Dafür wurden die jeweiligen Reaktionszeiten für diese beiden Blöcke pro Person gemittelt und anschließend die Korrelationen mit den Testwerten des WTS berechnet.

Für die Anzahl der richtigen, der falschen und der ausgebliebenen Reaktionen im DT zeigen sich keine systematischen Zusammenhänge mit den Reaktionszeiten während der Fahrt. Die absoluten Beträge der Korrelationen liegen im Schnitt bei $r = 0.14$ ($SD = 0.12$). Mit den aus den Rohwerten berechneten Anteilen richtiger Antworten zeigen sich positive Zusammenhänge mit den Lenkreaktionszeiten in beiden Blöcken ($r = 0.51$ bzw. $r = 0.37$) und der Gasrücknahmezeit im letzten Block ($r = 0.29$) (siehe Bild 39, links). Das heißt, je höher der Anteil korrekter Reaktionen im Test ist, umso länger dauert das Ein-

setzen der Lenkreaktion während der Fahrt. Wo möglich handelt es sich hierbei um Personen, die bei ihren Reaktionen höheren Wert auf Genauigkeit legen, um so zu vermeiden, dass sie möglicherweise eine falsche Reaktion ausführen. Dies geht in der Regel einher mit langsameren Reaktionen, wie sie sich im Fahrsimulator auch zeigen.

Der Index für die Reaktionsgeschwindigkeit hängt positiv mit den Reaktionsgeschwindigkeiten der Lenkreaktion im ersten Durchgang und der Gasrücknahme im Simulator im letzten Durchgang zusammen (siehe Bild 39, rechts oben). Die Koeffizienten sind negativ, da niedrige Reaktionszeiten im WTS sich in hohe T-Werte übersetzen. Dass die Zusammenhänge im letzten Durchgang nicht mehr auftreten, könnte daran liegen, dass die Varianz in den Fahrreaktionszeiten zwischen den Personen aufgrund der Lerneffekte immer geringer wird.

Bei dem Index für die motorische Zeit zeigen sich noch deutlichere Zusammenhänge mit den Reaktionszeiten während der Fahrt (siehe Bild 39, rechts unten). Insbesondere zeigen sich hier auch Zusammenhänge mit der Umsetzzeit, was naheliegend ist, da diese der motorischen Geschwindigkeit entspricht. Auch für die Bremsreaktionszeit zeigen sich stärkere Zusammenhänge, da diese die Umsetzzeit enthält. Aber auch bei der Lenkreaktionszeit ist ein starker Zusammenhang vorhanden. Für die Gasrücknahmezeit zeigen sich dagegen keine deutlichen Zusammenhänge. Daraus lässt sich schließen, dass die Schnelligkeit der Reaktion während der Fahrt maßgeblich von der motorischen Geschwindigkeit und nicht so sehr von der Wahrnehmungsgeschwindigkeit abhängt. Aber auch hier sind die Zusammenhänge zu Beginn der Fahrt stärker als im letzten Versuchsdurchgang.

Insgesamt zeigen sich damit signifikante Zusammenhänge zwischen den Testwerten des WTS und den Reaktionszeiten während der Fahrt.

- Beim Determinationstest geht ein hoher Anteil richtiger Reaktionen einher mit langsamen Reaktionszeiten während der Fahrt. Hier handelt es sich möglicherweise um Personen, denen die Genauigkeit der Reaktion besonders wichtig ist, sodass entsprechend lange für die Entscheidung für ein Fahrmanöver benötigt wird.
- Beim Reaktionstest hängt vor allem die motorische Geschwindigkeit (Umsetzzeit) positiv mit der Brems-, Lenk- und Umsetzzeit beim Bremsen zusammen.

Zusammenfassend zeigen sich damit befriedigende Zusammenhänge zwischen diesen beiden Subtests des Wiener Testsystems mit Reaktionsart und -schnelligkeit in sicherheitskritischen Situationen. Zu berücksichtigen ist allerdings, dass die hier untersuchte Stichprobe insgesamt eher junge, reaktionsschnelle Fahrer umfasste, was nicht unbedingt die relevante Zielgruppe für Untersuchungen der Fahreignung mithilfe des Wiener Testsystems darstellt. Interessant wäre es von da her, diese Studien mit relevanten Stichproben zu wiederholen. Weiter handelt es sich um eine bestimmte Art von sicherheitskritischen Situationen, in denen möglichst schnell auf ein relevantes Zielobjekt reagiert werden musste. Dies ist einerseits sicherlich für bestimmte Arten von Unfällen relevant. Andererseits sind die relevanten psychischen Prozesse z. B. bei Unfällen, die durch Überforderung, falsche

Ausrichtung von Aufmerksamkeit oder komplexe Situationen bedingt sind, sicherlich noch andere als die hier untersuchten. Auch von da her ist die Interpretation dieser Ergebnisse mit Vorsicht vorzunehmen.

10.2 Sensation Seeking – Persönlichkeitseigenschaft

In der verkehrspsychologischen Literatur wird der Einfluss von Persönlichkeitsmerkmalen auf das Unfallrisiko kontrovers diskutiert. Eines der am häufigsten untersuchten Konstrukte ist Sensation Seeking, d. h. ein Bedürfnis nach Stimulation. Während häufig in Abhängigkeit der Ausprägung von Sensation Seeking die Unfallhäufigkeit in einem bestimmten Zeitraum untersucht wird, konnte im Rahmen des simulierten Stadtversuchs der Zusammenhang zur Reaktionsfähigkeit in kritischen Situationen direkt untersucht werden. Zur Messung von Sensation Seeking füllte jede Person einen Fragebogen aus (NISS; ROTH & HAMMELSTEIN, 2012). Dieser erfasst das Bedürfnis nach neuen und intensiven Erlebnissen auf den beiden Subskalen „Bedürfnis nach Stimulation“ und „Vermeidung von Ruhe“ sowie auf der Gesamtskala.

Aus den Rohwerten des Fragebogens wurden die Summenscores berechnet sowie die Prozenträge der einzelnen Personen bezogen auf die Normstichprobe. Wie in den vorangegangenen Abschnitten wird sowohl der Zusammenhang zu den Reaktionsmustern, als auch der Zusammenhang zu den Reaktionszeiten betrachtet. Der Zusammenhang zu den Reaktionsmustern wurde wiederum anhand eines Extremgruppenvergleiches zwischen den Personen mit den jeweils 20 % niedrigsten und 20 % höchsten Skalenwerten untersucht. Die Skalenwerte der Personen sind bei allen drei Versuchen relativ hoch verglichen zur Normstichprobe. In Tabelle 22 sind die Kriterien für die Bildung der einzelnen Extremgruppen, deren Größe und die jeweiligen Fallzahlen gültiger Reaktionen der einzelnen Vergleichsgruppen dargestellt.

Für die Gesamtskala des NISS zeigen sich keine einheitlichen Zusammenhänge mit dem Reaktionsmuster der Fahrer. Es treten deutliche Effekte in den Lenkszenarien L und BL während der Stadtfahrt auf (L: $X^2_{4, 59} = 16.74$, $p = 0.002$; BL: $X^2_{4, 55} = 11.82$, $p = 0.019$; siehe Bild 40). Der Anteil an kombinierten Reaktionen ist hier bei den Personen mit niedrigen Werten etwa 45 % höher, wohingegen die

		Bremsen	Lenken	Bremsen/Lenken	Folgefahrt
Stadt	„niedrig“ (PR < 62 %)	27 (6)	26 (6)	25 (6)	20 (6)
	„hoch“ (PR > 89 %)	36 (8)	33 (8)	30 (8)	22 (9)
Landstraße	„niedrig“ (PR < 59 %)	21 (7)	21 (7)	14 (4)	20 (7)
	„hoch“ (PR > 87 %)	21 (6)	26 (8)	25 (8)	18 (6)
Autobahn	„niedrig“ (PR < 65 %)	23 (7)	24 (7)	22 (7)	20 (7)
	„hoch“ (PR > 89 %)	29 (9)	28 (9)	21 (6)	17 (6)

Tab. 22: Zuordnungskriterien, Gruppengröße (in Klammern) und Anzahl der gültigen Reaktionen der anhand des Summscores des NISS gebildeten Extremgruppen, getrennt nach Versuchskontext und Szenariotyp

	Kontext		
	Stadt	Landstraße	Autobahn
Bremsreaktionszeit 0	0.184	-0.135	-0.323
Bremsreaktionszeit 4	0.220	-0.109	-0.290
Lenkreaktionszeit 0	-0.290	-0.407	-0.108
Lenkreaktionszeit 4	0.079	0.189	-0.070
Gasrücknahmezeit 0	-0.193	-0.087	-0.107
Gasrücknahmezeit 4	0.052	0.061	-0.300
Umsetzzeit 0	0.126	-0.108	-0.250
Umsetzzeit 4	0.020	-0.195	-0.129

Tab. 23: Zusammenhänge zwischen dem Gesamtscore im Merkmal Sensation Seeking und den Reaktionszeiten in der Simulatorfahrt (0: Erstreaktion; 4: Letzte Reaktion). Dargestellt sind die Korrelationskoeffizienten, getrennt nach Versuchskontext

Personen mit hohen Werten etwa 33-49 % häufiger reine Bremsungen zeigen. Damit zeigen Personen mit einem hohen Gesamtscore im NISS zwar objektiv ein etwas riskanteres Fahrverhalten, da ein Unfall im Szenario L mit einer reinen Bremsung nicht verhindert werden kann. Tendenziell würde man von dieser Gruppe aber eher dynamische Lenkmanöver erwarten, wie beispielsweise im Landstraßenversuch. Die Lenkszenarien werden hier von den Personen mit hohen NISS-Werten häufiger ungebremst durchfahren ($X^2_{4, 47} = 9.84$, $p = 0.043$) mit 38 % mehr reinen Lenkungen.

In Tabelle 23 sind die Korrelationen zwischen dem Gesamtscore des Sensation Seekings und den Reaktionszeiten der Fahrer getrennt für die drei Versuchskontexte und jeweils für den ersten und letzten Versuchsdurchgang dargestellt. Insgesamt zeigen sich für die Reaktionszeiten nur schwache Zusammenhänge, die von der Richtung her teilweise negativ, teilweise positiv ausfallen.

Insgesamt lässt sich für den Zusammenhang von Sensation Seeking und dem Fahrverhalten Folgendes festhalten:

- Die deutlichsten Unterschiede zwischen den beiden Extremgruppen treten in den Lenkszenarien der Stadt- und Landstraßenfahrt auf. Dabei zeigt sich allerdings kein einheitlicher Effekt in Richtung dynamischer Fahrmanöver.
- Die Reaktionszeiten der Fahrer zeigen keinen deutlichen Zusammenhang mit der Ausprägung des Sensation Seekings.

Insgesamt sind damit die Zusammenhänge mit Sensation Seeking nicht sehr deutlich, was auch den kontroversen Ergebnissen in der Literatur entspricht. Ein Grund für die geringen Zusammenhänge mag auch die geringe die Variation der Merkmals Sensation Seeking in der Stichprobe sein. Hier wären weitere Untersuchungen mit entsprechend ausgewählten Extremgruppen sinnvoll.

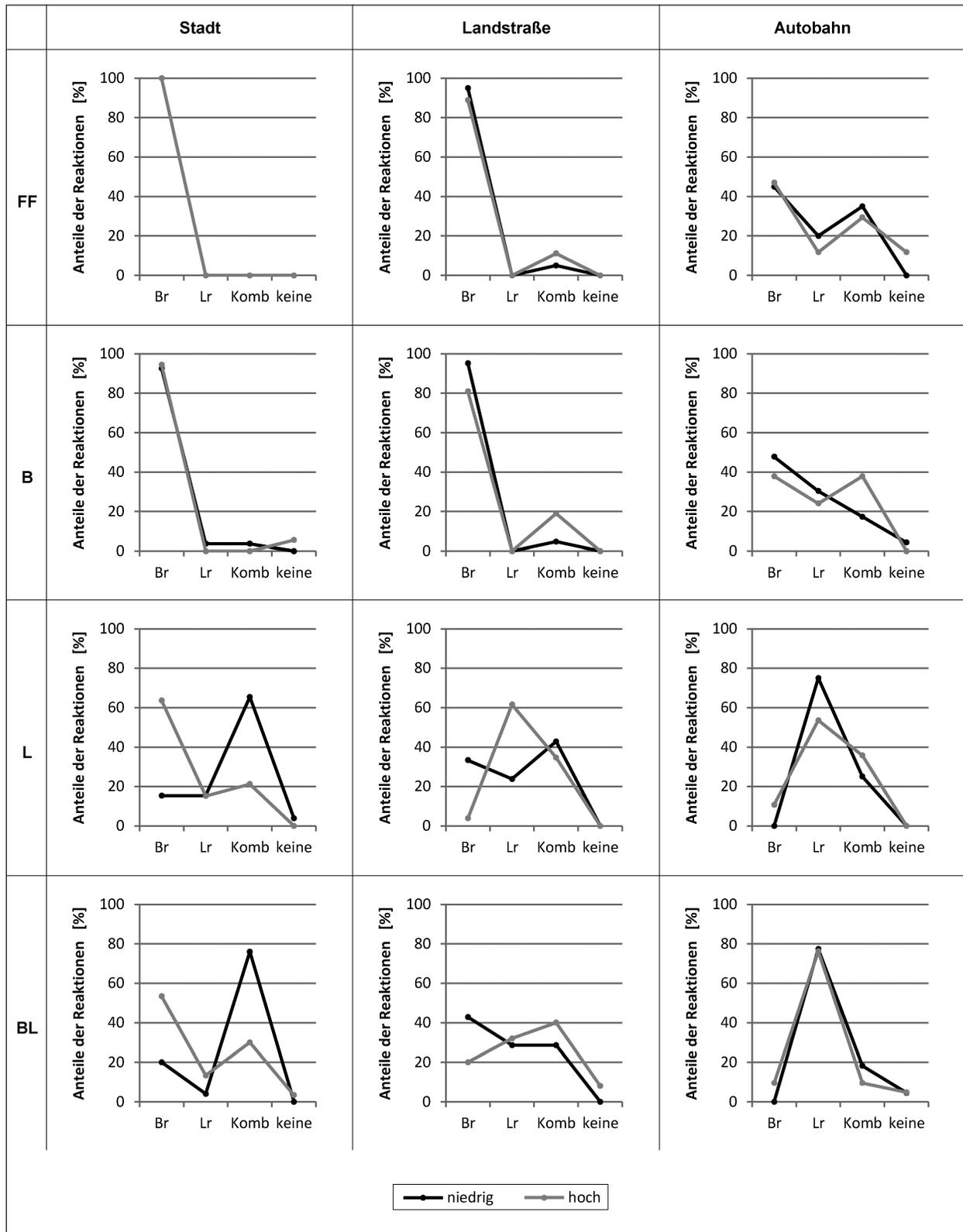


Bild 40: Unterschiede in den Reaktionsmustern von Fahrern mit hohem und niedrigem Gesamtscore im NISS, getrennt nach Versuchskontext und Szenariotyp. Die Kenndaten zu den Extremgruppen sind in Tabelle 22 dargestellt

10.3 Fahrerfahrung

Die Fahrerfahrung wurde gemessen als bisher mit dem Auto zurückgelegte Kilometer. Auch hier wurden Extremgruppen gebildet (obere vs. untere 20 %), um den Zusammenhang zu den Reaktionsmustern zu untersuchen. Die Kriterien für die Bildung der einzelnen Extremgruppen, deren Größe und die jeweiligen Fallzahlen gültiger Reaktionen der einzelnen Vergleichsgruppen sind in Tabelle 24 dargestellt.

Die Muster der auftretenden Reaktionen unterscheiden sich in dem Bremsszenario und der Folgefahrt nur geringfügig oder gar nicht (siehe Bild 41). In den Lenkszenarien zeigen sich teilweise recht starke Unterschiede zwischen den Fahrergruppen (Stadt-L: $X^2_{4, 78} = 12.25$, $p = 0.016$; Stadt-BL: $X^2_{4, 74} = 18.88$, $p = 0.001$; Landstraße-L:

$X^2_{4, 54} = 10.64$, $p = 0.031$; Landstraße-BL: $X^2_{4, 52} = 14.87$, $p = 0.005$). Über die Kontexte hinweg zeigt sich der Trend, dass unerfahrene Fahrer häufiger mit kombinierten Manövern reagieren (Stadt: 36 bzw. 48 % mehr, Landstraße: 4 bzw. 18 % mehr, Autobahn: 16 bzw. 21 % mehr). Erfahrene Fahrer zeigen in den Landstraßen- und Autobahnfahrten 26-31 % mehr reine Lenkungen und auf der Landstraße 17-29 % weniger reine Bremsungen. In der Stadt zeigen erfahrene Fahrer mehr reine Bremsungen als unerfahrene Fahrer (19-31 % mehr).

Für die Reaktionszeiten zeigen sich nur schwache Zusammenhänge mit der Fahrerfahrung der Fahrer, die teilweise auch vom Vorzeichen her unterschiedlich sind (siehe Tabelle 25). Keiner der Koeffizienten ist statistisch bedeutsam von 0 verschieden.

		Bremsen	Lenken	Bremsen/Lenken	Folgefahrt
Stadt	„niedrig“ (< 15.000 km)	38 (9)	39 (9)	39 (9)	20 (7)
	„hoch“ (> 120.000 km)	38 (9)	39 (9)	35 (9)	25 (9)
Landstraße	„niedrig“ (< 6.000 km)	25 (8)	27 (8)	25 (8)	22 (8)
	„hoch“ (> 100.000 km))	26 (8)	27 (8)	27 (8)	24 (8)
Autobahn	„niedrig“ (< 5.000 km)	25 (8)	27 (8)	28 (8)	22 (8)
	„hoch“ (> 120.000 km)	29 (9)	25 (8)	27 (8)	23 (8)

Tab. 24: Zuordnungskriterien, Gruppengröße (in Klammern) und Anzahl der gültigen Reaktionen der Extremgruppen mit niedriger und hoher Fahrerfahrung getrennt nach Versuchskontext und Szenariotyp

	Kontext		
	Stadt	Landstraße	Autobahn
Bremsreaktionszeit 0	0.218	0.053	0.231
Bremsreaktionszeit 4	0.093	0.184	0.270
Lenkreaktionszeit 0	0.014	-0.114	-0.122
Lenkreaktionszeit 4	0.245	0.183	0.138
Gasrücknahmezeit 0	-0.224	0.130	-0.286
Gasrücknahmezeit 4	0.117	0.035	0.318
Umsetzzeit 0	0.014	-0.153	-0.324
Umsetzzeit 4	-0.022	0.041	-0.124

Tab. 25: Zusammenhänge zwischen Fahrerfahrung des Fahrers und Reaktionszeiten in der Simulatorfahrt. Dargestellt sind die Korrelationskoeffizienten, getrennt nach Versuchskontext (Stadt, Landstraße, Autobahn) und Erwartungshaltung (0: Erstreaktion; 4: Letzte Reaktion)

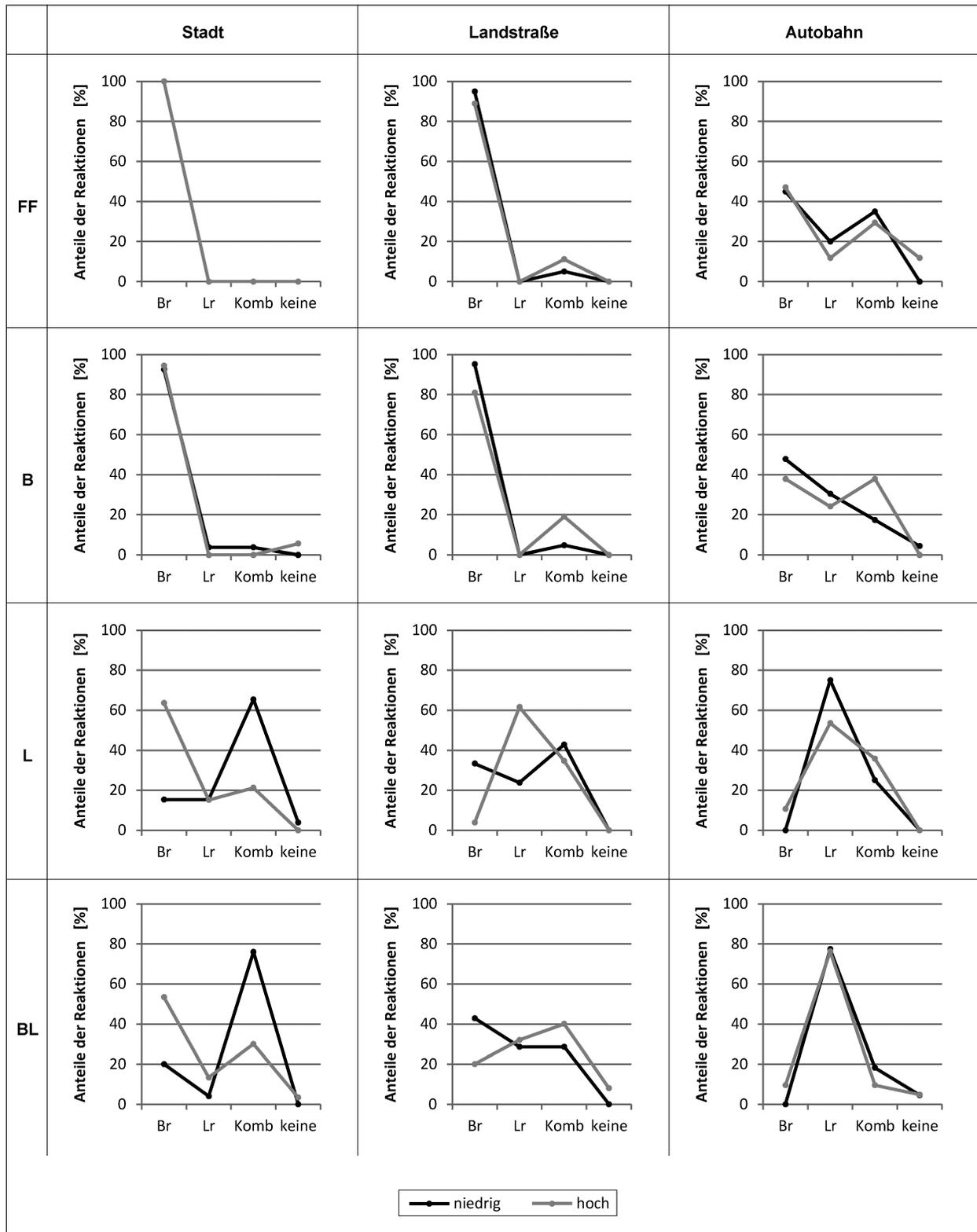


Bild 41: Unterschiede in den Reaktionsmustern von erfahrenen und unerfahrenen Fahrern, getrennt nach Versuchskontext und Szenariotyp. Die Kenndaten zu den Extremgruppen sind in Tabelle 24 dargestellt

10.4 Fahrstil

Die Angaben zum Fahrstil stammen aus den Selbsteinschätzungen der Fahrer auf einer 4-stufiger Skala („ruhig“ – „eher ruhig“ – „eher dynamisch“ – „dynamisch“). Für den Vergleich der Reaktionsmuster werden die „ruhigen“ und „eher ruhigen“ Fahrer den „dynamischen“ und „eher dynamischen“ Fahrern gegenübergestellt. Ein Extremgruppenvergleich der „ruhigen“ mit den „dynamischen“ Fahrern war nicht möglich, da dann die Stichproben zu klein gewesen wären. Die entsprechenden Kriterien für die Bildung der einzelnen Extremgruppen, deren Größe und die jeweiligen Fallzahlen gültiger Reaktionen der einzelnen Vergleichsgruppen sind in Tabelle 26 dargestellt.

Der selbstberichtete Fahrstil wirkt sich nur wenig auf die Reaktionsmuster aus. Im Stadt- und Landstraßenkontext zeigen sich keine Einflüsse (siehe Bild 42). Im Autobahnkontext treten die Unterschiede hauptsächlich in den Lenkszenarien und der Folgefahrt auf (L: $X^2_{4, 141} = 10.91$, $p = 0.028$; BL: $X^2_{4, 143} = 19.41$, $p = 0.001$; FF: $X^2_{4, 124} = 13.28$, $p = 0.010$). Dynamische Fahrer zeigen auf der Autobahn in den Lenkszenarien 15 bzw. 29 % mehr Lenkmanöver. Dagegen sinkt der Anteil an kombinierten Manövern.

Bei den Reaktionszeiten zeigen sich nur schwache Zusammenhänge mit dem Fahrstil (siehe Tabelle 27). Keine der Korrelationen weicht statistisch bedeutsam von 0 ab.

		Bremsen	Lenken	Bremsen/Lenken	Folgefahrt
Stadt	„Ruhig“	115 (27)	117 (27)	111 (27)	60 (20)
	„Dynamisch“	82 (19)	80 (19)	77 (19)	53 (17)
Landstraße	„Ruhig“	82 (25)	85 (25)	79 (25)	73 (25)
	„Dynamisch“	53 (16)	50 (16)	55 (16)	47 (16)
Autobahn	„Ruhig“	90 (27)	90 (27)	88 (27)	78 (27)
	„Dynamisch“	53 (16)	51 (16)	55 (16)	46 (16)

Tab. 26: Zuordnungskriterien, Gruppengröße (in Klammern) und Anzahl der gültigen Reaktionen der Extremgruppen mit niedriger und hoher Fahrerfahrung getrennt nach Versuchskontext und Szenariotyp

	Kontext		
	Stadt	Landstraße	Autobahn
Bremsreaktionszeit 0	0.341	0.021	0.275
Bremsreaktionszeit 4	0.104	-0.074	-0.161
Lenkreaktionszeit 0	0.214	-0.237	-0.204
Lenkreaktionszeit 4	-0.214	-0.065	-0.225
Gasrücknahmezeit 0	0.125	-0.143	0.069
Gasrücknahmezeit 4	0.164	-0.211	-0.088
Umsetzzeit 0	-0.118	0.122	-0.054
Umsetzzeit 4	-0.047	-0.054	-0.130

Tab. 27: Zusammenhänge zwischen Fahrstil des Fahrers und Reaktionszeiten in der Simulatorfahrt. Dargestellt sind die Korrelationskoeffizienten, getrennt nach Versuchskontext (Stadt, Landstraße, Autobahn) und Erwartungshaltung (0: Erstreaktion; 4: Letzte Reaktion)

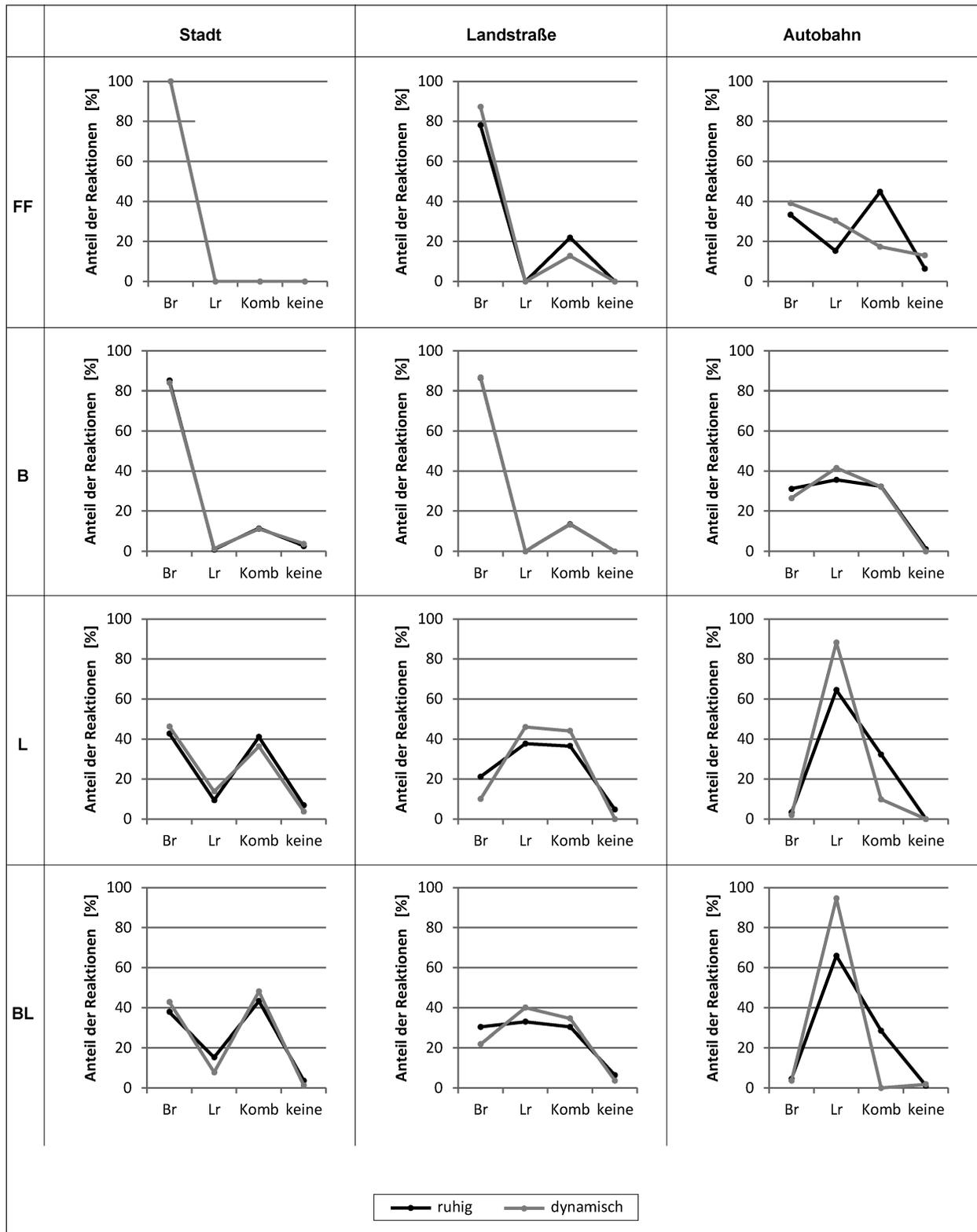


Bild 42: Unterschiede in den Reaktionsmustern von ruhigen und dynamischen Fahrern, getrennt nach Versuchskontext und Szenariotyp. Die Kenndaten zu den Extremgruppen sind in Tabelle 26 dargestellt

10.5 Auswirkungen von Personeneigenschaften

Für die Zusammenhänge des Fahrverhaltens mit den Personeneigenschaften lässt sich festhalten:

- Zusammenhänge mit den Reaktionszeiten in kritischen Situationen im Fahrsimulator zeigen sich in Bezug auf das Wiener Testsystem vor allem im Reaktionstest, bei dem basale Reaktionszeiten gemessen werden. Aufgrund der homogenen Stichprobe lässt sich die Validität solcher Testverfahren für die Beurteilung der fahrerischen Leistungsfähigkeit nur bedingt einschätzen.
- Die Persönlichkeitseigenschaft Sensation Seeking geht tendenziell mit etwas riskanteren Reaktionen einher, zeigt aber keinen eindeutigen Zusammenhang zu dynamischeren Fahrmanövern. Die Zusammenhänge zu den Reaktionszeiten sind nicht stark ausgeprägt.
- Erfahrenere Fahrer zeigen teilweise häufiger Lenkreaktionen und kombinierte Reaktionen. Fahrerfahrung ändert damit die Reaktionsart, wobei dieser Unterschied nicht so deutlich ist, wie man es erwartet hätte. Möglicherweise liegt das an der eingeschränkten Variationsbreite in der Stichprobe.
- Für den selbstberichteten Fahrstil zeigen sich abgesehen vom Autobahnkontext keine deutlichen Zusammenhänge mit dem Reaktionsverhalten.

Persönlichkeitseigenschaften beeinflussen das Reaktionsverhalten und die Reaktionszeiten weit weniger stark als erwartet, was möglicherweise durch die Homogenität der Stichproben bedingt wird. Die Unterschiede sind insgesamt vom Szenariotyp abhängig, wobei sich vor allem in Szenarien, in denen Lenkreaktionen eine größere Rolle spielen, Unterschiede finden. Dies sind die Folgefahrt und das Bremszenario auf der Autobahn (wo eigentlich keine Lenkreaktionen „geplant“ waren) und die Lenk- bzw. Brems/Lenkszenarien. Möglicherweise sind bei diesen Szenarien auch die Anforderungen an die Fahrer höher, sodass diese besser zur Differenzierung geeignet sind. Dies wäre in Übereinstimmung mit Fahrermodellen (z. B. FULLER, 2005), die in der Beanspruchung des Fahrers eine ganz wesentliche Einflussgröße für das sichere Fahren sehen.

11 Diskussion

Hintergrund

Drei Fahrsimulatorstudien in unterschiedlichen Kontexten (Stadt, Landstraße und Autobahn) wurden mit dem Ziel durchgeführt, Kennwerte von Fahrmanövern zu erheben, die in Situationen auftreten, in denen der Fahrer keine oder nur wenig Zeit hat, seine Handlungen zu planen. Der Fokus der Untersuchungen lag auf der Kategorisierung des vom Fahrer gezeigten Fahrverhaltens, sowie der Beschreibung dieses Verhaltens über die Geschwindigkeiten der einzelnen Reaktionen. Für die Planung und Durchführung weiterer verkehrspsychologischer Studien, die sich mit dem Fahrverhalten in kritischen Situationen auseinandersetzen, ist es insbesondere von Interesse, welche relevanten Faktoren sowohl fahrerseitig als auch seitens der Fahrumgebung berücksichtigt werden müssen, um sinnvolle Aussagen beispielsweise über die Wirksamkeit von Interventionen zur Fahrsicherheit treffen zu können. Die im Rahmen dieses Projektes erhobenen Daten bieten hierfür eine sehr gute Grundlage und erleichtern damit den Entwurf neuer Studien und die Formulierung spezifischer Fragestellungen.

Durch den komplexen Versuchsplan der durchgeführten Studien ist es möglich, ein sehr breites Spektrum an Einflussfaktoren zu betrachten. Da auf diese Weise die wesentlichen beeinflussenden Variablen in besonderem Maße kontrolliert werden konnten, ist es besser als in bisherigen Einzelstudien möglich, Aussagen über die Wirkzusammenhänge im Kontext kritischer Fahrsituationen zu treffen.

Das hohe Maß an Kontrollierbarkeit wurde durch die Durchführung der Fahrversuche im Fahrsimulator ermöglicht. Alle wesentlichen Einflussgrößen können hier manipuliert werden, was es möglich macht, sehr vergleichbar kritische Szenarien zu erstellen, unabhängig davon, ob die Fahrt in der Stadt, auf der Landstraßen oder auf der Autobahn stattfindet.

Der Preis der hohen internen Validität ist die nie abschließend zu klärende Frage nach der externen Validität, also der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf eine reale Fahrsituation. Insofern ist es eine weitere Stärke des Projektes, dass in einer zusätzlichen Studie in einer nachgestellten Stadtfahrt anhand von Realfahrdaten eines Versuchsträgers eben jene Übertragbarkeit gesondert betrachtet

wurde. Aufgrund des hohen Aufwands und der potenziellen Risiken des Realversuchs war nur ein begrenzter Vergleich möglich, der aber sowohl für die Art der Reaktion als auch die Reaktionszeiten eine sehr gute Übertragbarkeit der Ergebnisse zeigte. Deutliche Unterschiede ergaben sich beim weiteren Verlauf der Reaktion, wobei vermutlich vor allem die fehlende Bewegungsinformation beim statischen Simulator eine wesentliche Rolle spielte. Im Hinblick auf die Art der Reaktion und die Reaktionszeit spricht damit das Ergebnis für eine hohe Validität der Simulatorergebnisse.

Ein wesentliches Ziel des Projektes war es, Kennwerte zu liefern, die für weitere Studien insbesondere zur Wirkung von Assistenzsystemen in kritischen Situationen als Vergleichsbasis genutzt werden können. Insbesondere die Kennwerte für die verschiedenen Reaktionsgeschwindigkeiten bieten hier eine wertvolle Möglichkeit zur spezifischen zeitlichen Konfiguration der entsprechenden Systeme sowie deren Evaluierung. Ebenso stellt die Ausarbeitung klar definierter Szenarien einen ersten Schritt in Richtung einer standardisierten Testprozedur dar, welche die Vergleichbarkeit von Ergebnissen einzelner Forschergruppen enorm steigern könnte. Die Untersuchung der verschiedenen, wesentlichen Einflussfaktoren zeigt, welche davon berücksichtigt werden müssen, um zu vergleichbaren Ergebnissen zu gelangen.

In den hier durchgeführten Studien handelte es sich um Situationen, in denen entweder ein Führungsfahrzeug plötzlich bremste oder ein Hindernis in Form eines Fußgängers oder Fahrzeugs plötzlich auf der Fahrbahn erschien, da dies typische Szenarien sind, in denen eine Fahrerreaktion erforderlich ist. Unter der Hypothese, dass die Fahrerreaktion wesentlich von den Umgebungsbedingungen abhängt, wurden diese variiert. Dabei wurde einerseits die zu Verfügung stehende Reaktionszeit berücksichtigt. Je weniger Zeit zur Verfügung steht, umso eher muss der Fahrer lenken, da eine reine Bremsung nicht ausreicht, um die Kollision zu vermeiden. Als zweiter Faktor wurde der vorhandene Ausweichraum variiert. Bei relativ langer zur Verfügung stehender Zeit und fehlendem Ausweichraum sollte so eher gebremst werden. Bei kurzer verfügbarer Zeit und vorhandenem Ausweichraum sollten Lenkreaktionen häufiger werden. So wurden zwei Szenarien konstruiert, wo eher ein Bremseingriff (Szenarien B – Bremsen wegen eines Hindernisses und FF – Bremsen in der Folgefahrt) erfolgen sollte. Ein weiteres Szenario sollte durch einen Lenk-

eingriff (Szenario L) zu bewältigen sein. In einem vierten Szenario war Ausweichraum vorhanden, aber auch etwas mehr Zeit, sodass eine Kombination beider Reaktionen (Szenario BL) sinnvoll sein könnte, um eine Kollision zu vermeiden.

Ergebnisse

Insgesamt wurde diese Überlegung bestätigt. Die umgesetzten Szenarien B, L, BL und FF beeinflussten in allen drei Kontexten die Art der Reaktion deutlich, also ob beispielsweise eine reine Bremsung ausgeführt wurde oder eine kombinierte Lenk-Brems-Reaktion. Die Fahrer zeigten in den Brems-szenarien B und FF mehr Bremsreaktionen als in den Lenkszenarien L und BL, wo deutlich mehr Lenkreaktionen auftreten. Die beiden Bremsszenarien B und FF unterschieden sich dagegen kaum. Damit scheint es für die Art der Reaktion unerheblich zu sein, ob man wegen eines plötzlichen auftauchenden Hindernisses bremst oder wegen eines plötzlich anhaltenden Vorderfahrzeugs. Weiter gab es zwischen den Lenkszenarien L und BL nur geringe Unterschiede. Damit scheint die Wahl des Fahrmanövers maßgeblich von der zur Verfügung stehenden Zeit und dem Ausweichraum abzuhängen.

Darüber hinaus spielten der Versuchskontext und die damit verbundene Geschwindigkeitsvorgabe eine große Rolle bei der Manöverwahl. In der Stadtfahrt traten in allen Szenarien hauptsächlich Bremsreaktionen auf. Im Landstraßenversuch traten in den Lenkszenarien in mehr als einem Drittel der Fälle auch reine Lenkungen auf und auf der Autobahn zeigten die Fahrer überwiegend Lenkreaktionen. Auf der Autobahn wurden selbst in den Bremsszenarien nur in etwa einem Drittel der Fälle reine Bremsungen durchgeführt. Ein Grund hierfür sind vermutlich die unterschiedlichen Distanzen, in denen die Hindernisse in den jeweiligen Geschwindigkeitsbereichen erschienen, um eine vergleichbare Kritikalität herzustellen. Die Fahrer müssen in höheren Geschwindigkeitsbereichen die größeren werdenden Distanzen zwischen sich und dem Hindernis einschätzen und mit ihrem momentanen Bremsweg abgleichen. Diese Aufgabe ist relativ schwer im Vergleich zu einem Lenkmanöver, bei dem nur der Querversatz eingeschätzt werden muss, der mit einer bestimmten Lenkreaktion einhergeht. Außerdem wirken sich die größeren Distanzen womöglich auf die wahrgenommene Kritikalität der Situation aus. Dadurch haben die Fahrer bei höheren Geschwindigkeiten gefühlt mehr Zeit,

um ihr Fahrmanöver gemäß den Umgebungsbedingungen auszuwählen. Weiter genügt bei den relativ großen Distanzen auch eine deutlich schwächere Lenkreaktion, um ein Ausweichen zu erreichen, sodass auf diese Weise die Situation durch Lenken besser entschärft werden kann als durch eine Bremsung. Und natürlich bleibt man beim Lenken in der Fahrt und verzögert diese nicht, was für den Fahrer angenehmer sein könnte.

Dieser Effekt zeigte sich auch in den Reaktionszeiten, die mit zunehmender Geschwindigkeit immer länger wurden. Im Vergleich zur Stadtfahrt verlängerten sich die Reaktionszeiten während der Autobahnfahrt um 200-400 ms. Innerhalb eines Geschwindigkeitsbereiches zeigten sich zwischen den einzelnen Fahrscenarien kaum Unterschiede, d. h. reine Bremsungen erfolgten beispielsweise in Szenario B genauso schnell wie in Szenario BL. Eine Ausnahme bildete die Folgefahrt, bei der aufgrund der geringeren Saliens des kritischen Reizes (Veränderung der Geschwindigkeit vs. plötzliches Erscheinen) die Reaktion etwa 200-300 ms später einsetzte.

Ebenso veränderten sich die Reaktionszeiten nicht in Abhängigkeit von der Art der Reaktion (isolierten vs. kombiniert), d. h. die Bremsreaktionszeit einer reinen Bremsung erfolgte ebenso schnell wie die einer kombinierten Brems-Lenk-Reaktion.

Neben den Einflüssen der Fahrumgebung wurde auch die Wirkung des Fahrerzustands im Sinne der Aufmerksamkeit untersucht. Für die kognitive Ablenkung zeigte sich kein Effekt. Weder die Art der Reaktion noch die Reaktionszeiten veränderten sich durch das Bearbeiten der Nebenaufgabe. Das deutet daraufhin, dass Fahrer solange sie nach vorn schauen können, zumindest die hier verwendeten kritischen Situationen sehr schnell erkennen und die nötige Aufmerksamkeit auf das Ereignis lenken konnten. Aus den Blickdaten war zu entnehmen, dass eine visuelle Ablenkung dagegen einen starken Einfluss vor allem auf die Schnelligkeit der Reaktionen hatte. Wenn unmittelbar vor dem kritischen Ereignis der Tacho beobachtet worden war, verzögerte sich der Beginn der Reaktion um 200-300 ms.

Wenn unmittelbar vor dem kritischen Ereignis auch die Seitenbereiche neben der Straße fixiert worden waren, traten Lenkreaktionen häufiger auf. Waren die Blicke dagegen eher in die Mitte der Straße fixiert, wurde eher gebremst. Zudem zeigten sich in

Abhängigkeit vom Suchverhalten während des Manövers unterschiedliche Arten von Reaktionen. Ausweichreaktionen traten demnach verstärkt dann auf, wenn der Fußgänger auf der Fahrbahn nicht durchgängig fixiert wird. Nach wiederholt eingetretenen Ereignissen zeigten die Fahrer bereits vor dem Erscheinen des Fußgängers die Tendenz, die Fahrbahnränder abzusuchen und fixierten bereits potenzielle Gefahrenstellen.

Ein Lerneffekt zeigte sich auch in den Reaktionszeiten der Fahrmanöver. Im Stadtkontext, wo aus den Merkmalen der Umwelt kritische Ereignisse besser vorherzusagen waren, ergab sich die größte Erwartungshaltung, was zu einer Verkürzung der Reaktionen um 200-400 ms führt. Die Lernkurve war dabei relativ steil und erreichte ihr Plateau schneller als bei der Landstraßen- und Autobahnfahrt, wo sich die Reaktionen insgesamt nur etwa halb so stark verkürzten. Die Art der Reaktion wurde zwar hauptsächlich vom Versuchskontext und dem Szenariotyp beeinflusst. Aber auch hier zeigten sich teilweise Lerneffekte, die zu einer besseren Anpassung des Reaktionsmusters auf die Situationsbedingungen führten.

In Ergänzung zu den Umgebungsbedingungen und dem Zustand des Fahrers während der Fahrt wurden Merkmale des Fahrers mituntersucht. Aus den Ergebnissen des Wiener Testsystems zeigte sich, dass es eine Gruppe von sorgfältigen Fahrern gab, die im Determinationstest eine hohe Quote an korrekten Reaktionen zeigte, dafür aber in zeitkritischen Fahrsituationen langsamer reagierte als der Durchschnitt. Der Reaktionstest ermöglicht es mithilfe einer Ruhe- und einer Reaktionstaste die Reaktionszeit und motorische Geschwindigkeit (Umsetzzeit) getrennt zu analysieren. Dabei zeigte sich, dass die Reaktionszeiten während der Fahrt vor allem mit dem Index der motorischen Geschwindigkeit zusammenhängen und weniger mit der Schnelligkeit des Reaktionsbeginns. Insgesamt zeigen sich damit für die beiden Subtests des Wiener Testsystems erwartungskonforme Zusammenhänge mit dem Reaktionsverhalten in kritischen Situationen. Die Frage der Validität der Tests für eine Beurteilung der fahrerischen Leistungsfähigkeit kann aufgrund der vorliegenden Stichprobe nicht abschließend beantwortet werden.

Für die weiteren untersuchten personenbezogenen Eigenschaften Sensation Seeking, Fahrerfahrung und selbstberichteter Fahrstil zeigten sich überwiegend schwache bis fehlende Effekte, die haupt-

sächlich in den Lenkszenarien zum Tragen kamen. Fahrer mit einem stark ausgeprägten Sensation Seeking zeigten tendenziell ein riskanteres Fahrverhalten hinsichtlich der Art der Reaktion, jedoch keine eindeutig dynamischeren Fahrmanöver. Die Reaktionszeiten zeigten praktische keine Zusammenhänge. Insgesamt war damit der systematische Einfluss dieser Faktoren auf die Art und Schnelligkeit der Reaktion erstaunlich gering. Möglicherweise ist dies aber auch durch die vom Alter, der Fahrfahrung und der Ausprägung des Sensation Seeking relativ homogene Stichprobe bedingt.

Schlussfolgerungen

In Tabelle 28 sind die Kennwerte der drei Szenarien B, L und FF jeweils getrennt nach Versuchskontext dargestellt. Damit sind die Ergebnisse der relevanten Reaktionszeiten und Reaktionsarten zusammengefasst. Das Szenario Folgefahrt war nicht als Erstreaktion enthalten, sodass hier die zweite Reaktion gezeigt wird. Zum Vergleich sind auch für die anderen Szenarien diese Durchgänge dargestellt.

Insgesamt stimmen diese Ergebnisse sehr gut mit denen der oben beschriebenen vorhandenen Studien überein. Die Grundreaktionszeiten sind recht gut vergleichbar. Dort war insbesondere der Einfluss der Erwartung die ganz wesentliche Einflussgröße, was durch die vorliegende Studie sehr gut bestätigt werden konnte. Weiter waren die Ergebnisse der Literatur je nach Studie recht unterschiedlich, wobei vermutlich der Kontext (z. B. der

Geschwindigkeitsbereich) und die konkrete Ausgestaltung der Situation eine wichtige Rolle spielte. Dies wurde in der vorliegenden Studie erstmals systematisch variiert und verglichen.

Zusammenfassend erscheint der Versuchskontext, also die Fahrt in der Stadt, auf der Landstraße oder auf der Autobahn wesentlich für die Fahrerreaktionen. Dieser beeinflusst sowohl die Art der Reaktion als auch die Reaktionszeiten maßgeblich. Innerhalb eines Kontextes hat der Szenarioaufbau einen starken Einfluss auf die Art der Reaktionen, aber mit Ausnahme der Folgefahrt nicht auf die Reaktionszeiten. Somit lassen sich je nach Untersuchungsgegenstand verschiedene Empfehlungen aussprechen, welche Umgebungsparameter in künftigen Simulatorstudien berücksichtigt werden sollten. Ist das Anwendungsgebiet der Studie nicht im Vorhinein auf einen bestimmten einzelnen Geschwindigkeitsbereich festgelegt, ist es zur globalen Interpretation der Ergebnisse nötig, alle drei Fahrtkontexte umzusetzen.

- Es wird empfohlen, über unterschiedlichen Kontext die drei Geschwindigkeitsbereiche 50 km/h (Stadtfahrt), 100 km/h (Landstraße) und 130 km/h Autobahn abzudecken, da sich sowohl von der Art der Reaktion als auch der Reaktionszeit her deutliche Unterschiede ergeben.

Hinsichtlich der Reaktionsmuster sollte zwischen einem reinen Bremsszenario bzw. der Folgefahrt auf der einen Seite und einem Brems- oder Brems-

Zeiten in Sekunden		Stadt 50 km/h			Landstraße 100 km/h			Autobahn 130 km/h		
		B	FF	L	B	FF	L	B	FF	L
Gasrücknahme	Block 0	0.67	-	0.72	0.66	-	0.97	0.80	-	0.69
	Block 1	<i>0.51</i>	<i>0.56</i>	<i>0.47</i>	<i>0.62</i>	<i>0.73</i>	<i>0.62</i>	<i>0.63</i>	<i>0.90</i>	<i>0.53</i>
Umsetzzeit	Block 0	0.29	-	0.25	0.28	-	0.24	0.30	-	0.35
	Block 1	<i>0.27</i>	<i>0.31</i>	<i>0.24</i>	<i>0.28</i>	<i>0.27</i>	<i>0.24</i>	<i>0.32</i>	<i>0.33</i>	<i>0.27</i>
Bremsreaktion	Block 0	0.98	-	0.96	0.97	-	1.21	1.10	-	1.04
	Block 1	<i>0.77</i>	<i>0.87</i>	<i>0.70</i>	<i>0.89</i>	<i>1.00</i>	<i>0.86</i>	<i>0.96</i>	<i>1.23</i>	<i>0.80</i>
Lenkreaktion	Block 0	-	-	0.73	-	-	0.87	1.33	-	0.96
	Block 1	<i>0.92</i>	<i>-</i>	<i>0.55</i>	<i>0.61</i>	<i>0.92</i>	<i>0.72</i>	<i>1.16</i>	<i>1.30</i>	<i>0.81</i>
% Bremsen		93.3	100.0	13.3	85.7	72.5	30.8	13.3	33.3	0.0
% Lenken		0.0	0.0	13.3	0.0	0.0	53.8	66.7	16.7	64.3
% Kombiniert		0.0	0.0	33.3	14.3	27.5	15.4	20.0	45.2	35.7
% Keine Reaktion		6.7	0.0	40.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.8	0.0

Tab. 28: Dargestellt sind die jeweiligen Reaktionszeiten in Sekunden und relativen Häufigkeiten der Reaktionsmuster für die einzelnen Szenariotypen (B, FF, L) und Versuchskontexte (Stadt, Landstraße, Autobahn). Die Kennwerte stammen aus dem ersten Versuchsdurchgang (Block 0). Da die Folgefahrt in Block 0 nicht vorhanden war, beziehen sich die Kennwerte auf Block 1. Zum Vergleich der Reaktionszeiten sind die Werte der andern Szenarien aus Block 1 ebenfalls aufgeführt (kursiv)

Lenkszenario unterschieden werden, da sich hier deutlich unterschiedliche Häufigkeiten von Lenk- und Bremsreaktionen bzw. kombinierten Reaktionen zeigten. Von den Reaktionszeiten her unterscheiden sich vor allem die Reaktionszeiten bei den Folgefahrten von den Reaktionszeiten bei plötzlich auftauchenden Hindernissen. Von da her ergibt sich für die Szenarien folgende Empfehlung:

- Es wird empfohlen, ein plötzlich auftauchendes Hindernis relativ nah vor dem Fahrzeug zu realisieren, wobei hinreichender Ausweichraum vorhanden ist, sodass Lenkreaktionen oder kombinierte Reaktionen sinnvoll erscheinen. Diese sind zu vergleichen mit einer Situation, in der ein Hindernis etwas weiter vor dem Fahrzeug auftaucht und kein Ausweichraum vorhanden ist, sodass hier Bremsreaktionen adäquat sind. Weiter sollte bei einer Folgefahrt ein plötzliches Bremsen des Vorderfahrzeugs eingeführt werden, wobei die anderen Fahrstreifen besetzt sind, sodass ein Bremsen sinnvoll erscheint.

Kombiniert man diese Empfehlungen miteinander, so ergibt sich ein Set von 9 Situationen (vgl. Tabelle 28), mit denen man unterschiedliche Arten von Reaktionen und die durch die situativen Bedingungen beeinflussten Reaktionszeiten untersuchen kann.

Da die Erwartungshaltung sowohl die Art der Reaktion als auch die Reaktionszeiten deutlich beeinflusst, wäre weiter zu empfehlen, dass jeder Proband nur eine kritische Situation durchfährt. Dies ist sicherlich am besten vergleichbar mit der Situation von Fahrern im realen Verkehr, die auch nicht zu jedem Zeitpunkt der Fahrt mit kritischen Ereignissen rechnen. Wenn man mehrfache kritische Situationen einführt, erscheint es sinnvoll, Szenarien mit ähnlichen Reaktionsmustern zu realisieren, da sich die Art der Reaktion vor allem dann änderte, wenn Erfahrungen mit anderen Situationen gemacht wurden, in denen andere Reaktionen sinnvoll waren. Man müsste dann alle Bedingungen mit hoher Erwartungshaltung durchführen (etwa durch vorherige Übung), sodass Lerneffekte im Versuch nicht mehr zu erwarten sind. Durch den Vergleich mit Daten von Probanden ohne Erwartung könnte dann der Effekt bei unerwarteten Bedingungen zumindest abgeschätzt werden.

Eine weitere wichtige Einflussgröße ist die visuelle Ablenkung, die sich insbesondere auf die Reak-

tionszeiten auswirkt. Der Einfluss personenbezogener Eigenschaften war in den Studien insgesamt nicht so hoch wie der der Umgebungsparameter. Dabei ist allerdings zu beachten, dass die gezogenen Stichproben hinsichtlich ihrer Demografie sehr homogen gewählt wurden, da der Hauptfokus auf der Herausarbeitung der Effekte der Umgebungsparameter lag. In Stichproben mit größerer Schwankung in den demographischen Merkmalen sind unter Umständen größere Effekte zu erwarten. Insbesondere die in den Studien gefundenen Einflüsse der generellen Reaktionsfähigkeit (WTS), des Stimulationsbedürfnisses (NISS) und der Fahrerfahrung könnten in heterogeneren Stichproben noch deutlicher hervortreten.

Literatur

- ABE, G. & RICHARDSON, J. (2006): Alarm timing, trust and driver expectation for forward collision warning systems. *Applied Ergonomics*, 37 (5), 577-586
- ADELL, E., VARHELYI, A. & DALLA FONTANA, M. (2011): The effects of a driver assistance system for safe speed and safe distance: A real-life field study. *Transportation Research Part C*, 19, 145-155
- BELLINGER, D. B., BUDDE, B. M., MACHIDA, M., RICHARDSON, G. B. & BERG, W. P. (2009): The effect of cellular telephone conversation and music listening on response time in braking. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 12 (6), 441-451
- BERNOTAT, R. (1970): Anthropotechnik in der Fahrzeugführung. *Ergonomics*. *Ergonomics*, 13 (2), 353-377
- BERUSCHA, F., WANG, L., AUGSBURG, K. & WANDKE, H. (2010): Do drivers steer toward or away from lateral directional vibrations at the steering wheel? In: J. KREMS, T. PETZOLDT & M. HENNING (Hrsg.), *Proceedings of European Conference on Human Centred Design for Intelligent Transportation Systems*. April 29-30, 2010, Berlin Germany (pp. 227-236). Bron, France: Humanist Publications
- BOSCH (2007): *Krafffahrtechnisches Taschenbuch* (26. Aufl.). Wiesbaden: Vieweg

- BURCKHARDT, M. (1985): Reaktionszeiten bei Notbremsvorgängen (Fahrzeugtechnische Schriftenreihe). Köln: TÜV Rheinland
- BURG, H. (2009): Vermeidbarkeitsbetrachtungen. In: H. BURG & A. MOSER (Hrsg.), Handbuch Verkehrsunfallrekonstruktion. Unfallaufnahme, Fahrdynamik, Simulation (2. Aufl., S. 251-260). Wiesbaden: Vieweg + Teubner
- CALVI, A. (2007): Experimental analysis of reaction time to brake. International Conference Road Safety and Simulation, Rom
- CONSIGLIO, W., DRISCOLL, P., WITTE, M. & BERG, W. P. (2003): Effect of cellular telephone conversations and other potenzial interference on reaction time in a braking response. *Accident Analysis & Prevention*, 35 (4), 495-500
- DERICHS, H. (1998): Vergleich statistischer Auswerteverfahren der experimentell ermittelten Reaktionszeiten von Pkw-Fahrern im Straßenverkehr. Diplomarbeit, Fachhochschule Köln. Köln
- DONDERS, F. (1969): On the speed of mental processes. *Acta Psychologica* (30), 412-431
- DONGES, E. (1982): Aspekte der Aktiven Sicherheit bei der Führung Personenkraftwagen 27 von Personenkraftwagen. *Automobil – Industrie* (27), 183-190
- DONGES, E. (2009): Fahrerverhaltensmodelle. In: H. WINNER, S. HAKULI & G. WOLF (Hrsg.), Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort (S. 15-22). Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag/GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden
- ECKERT, M. & CARRARO, U. R. H. (1993): Untersuchungen zur Analyse und Bewertung von Dunkelheitsunfällen im Straßenverkehr. *Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität Dresden* (5)
- EDQUIST, J., RUDIN-BROWN, C. M. & LENNÉ, M. G. (2012): The effects of on-street parking and road environment visual complexity on travel speed and reaction time. *Accident Analysis & Prevention*, 45, 759-765
- ENGSTROM, J., AUST, M. L. & VISTROM, M. (2010): Effects of working memory load and repeated scenario exposure on emergency braking performance. *Human Factors*, 52 (5), 551-559
- FRICKE, N., de FILLIPIS, M. & THÜRING, M. (2008): Wie beurteilt man sicherheitskritische Fahrerassistenzsysteme? Darstellung einer Fahrstudie. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 62 (1), 25-35
- FULLER, R. (2005): Towards a general theory of driver behaviour. *Accident Analysis & Prevention*, 37 (3), 461-472
- GREEN, J. M. (2000): How long does it take to stop? Methodological analysis of driver perception-brake times. *Transportation Human Factors*, 2 (3), 195-216
- HANCOCK, P., LESCH, M. & SIMMONS, L. (2003): The distraction effects of phone use during a crucial driving maneuver. *Accident Analysis & Prevention*, 35 (4), 501-514
- HERZBERG, P. Y. & SCHLAG, B. (2003): Sensation Seeking und Verhalten im Straßenverkehr. In: M. ROTH & P. HAMMELSTEIN (Hrsg.), *Sensation Seeking – Konzeption, Diagnostik und Anwendung* (S. 162-182). Göttingen: Hogrefe
- HO, C., REED, N. & SPENCE, C. (2006): Assessing the effectiveness of "intuitive" vibrotactile warning signals in preventing front-to-rear-end collisions in a driving simulator. *Accident Analysis & Prevention*, 38 (5), 988-996
- HOFMANN, P., RINKENAUER, G. & GUDE, D. (2010): Preparing lane changes while driving in a fixed-base simulator: Effects of advance information about direction and amplitude on reaction time and steering kinematics. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 13 (4), 255-268
- HORREY, W. J. & WICKENS, C. D. (2004): The Impact of Cell Phone Conversations on Driving: A Meta-Analytic Approach (Technical Report AHFD-04-2/GM-04-1). Illinois: Aviation Human Factors Division Institute of Aviation
- JOHANNSON, C. & RUMAR, K. (1971): Drivers brake reaction time. *Human Factors*, 13 (1), 22-27
- KLEBELSBERG, D. (1982): *Verkehrspsychologie*. Berlin: Springer

- LEE, J. D., CAVEN, B., HAAKE, S. & BROWN, T. L. (2001): Speech-based interaction with in-vehicle computers: The effect of speech-based e-mail on drivers' attention to the roadway. *Human Factors*, 43 (4), 631-640
- LEE, J. D., HOFFMANN, J. D., BROWN, T. L. & McGEHEE, D. V. (2002): Comparison of driver braking responses in a high fidelity driving simulator and on a test track (DOT HS 809 447). Virginia: NHTSA
- LEE, J. D., McGEHEE, D. V., BROWN, T. L. & REYES, M. L. (2002): Collision warning timing, driver distraction, and driver response to imminent rear-end collisions in a high-fidelity driving simulator. *Human Factors*, 44 (2), 314-334
- LIEBERMANN, D., BEN-DAVID, G., SCHWEITZER, N., APTER, Y. & PARUSH, A. (1995): A field study on braking responses during driving. I. Triggering and modulation. *Ergonomics*, 38, 1894-1902
- LISPER, H., ERIKSSON, B. & FAGERSTROM, K. O. (1979): Diurnal variation in subsidiary reaction time in a long-term driving task? *Accident Analysis and Prevention*, 11, 1-5
- MAKISHITA, H. & MATSUNAGA, K. (2008): Differences of drivers' reaction times according to age and mental workload. *Accident Analysis & Prevention*, 40 (2), 567-575
- MALATERRE, G., FERRANDEZ, F., FLEURY, D. & LECHNER, D. (1988): Decision making in emergency situations. *Ergonomics*, 31 (4), 643-655
- McGEHEE, D. V., MAZZAE, E. N. & BALDWIN, G. H. S. (2000): Driver reaction time in crash avoidance research: Validation of a driving simulator study on a test track. In: *Human Factors and Ergonomics Society (Ed.), XIVth Triennial Congress of the International Ergonomics Association and 44th Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society (Vol. 3, pp. 320-323)*
- MICHON, J. A. (1985): A critical view of driver behavior models: What do we know, what should we do. In: L. EVANS & R. C. SCHWING (Eds.), *Human Behavior and Traffic Safety* (p. 485-520). New York: Plenum Press
- MILLER, J. O. & LOW, K. (2001): Motor processes in simple, Go/No-Go, and choice reaction time tasks: A psychophysiological analysis. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27 (2), 266-289
- MOHEBBI, R., GRAY, R. & TAN, H. Z. (2009): Driver reaction time to tactile and auditory rear-end collision warnings while talking on a cell phone. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 51 (1), 102-110
- MUHRER, E., REINPRECHT, K. & VOLLRATH, M. (2012): Driving with a partially autonomous forward collision warning system – How do we react? *Human Factors*, 54 (5), 698-708
- RASMUSSEN, J. (1983): Skills, rules, and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, SMC*, 13 (3), 257-266
- REYES, M. L. & LEE, J. D. (2008): Effects of cognitive load presence and duration on driver eye movements and event detection performance. *Transportation Research Part F*, 11, 391-402
- ROTH, M. & HAMMELSTEIN, P. (2012): The Need Inventory of Sensation Seeking (NISS). *European Journal of Psychological Assessment*, 28, 11-18
- SCHWEITZER, N., APTER, Y., BEN-DAVID, G., LIEBERMANN, D. G. & PARUSH, A. (1995): A field study on braking responses during driving. II. Minimum driver braking times. *Ergonomics*, 38 (9), 1903-1910
- SCOTT, J. J. & GRAY, R. (2008): A Comparison of tactile, visual, and auditory warnings for rear-end collision prevention in simulated driving. *Human Factors*, 50 (2), 264-275
- SOHN, S. Y. & STEPLEMAN, R. (1998): Meta-analysis on total braking time. *Ergonomics*, 41 (8), 1129-1140
- STANCZYK, T. L., JURECKI, R., JASKIEWICZ, M., WALCZAK, S. & JANCZUR, R. (2011): Researches on the reaction of a pedestrian stepping into the road from the right side from behind and an obstacle realized on the track. *Journal of KONES Powertrain and Transport*, 18 (1)

- STRAYER, D. L. & DREWS, F. A. (2004): Profiles in driver distraction: Effects of cell phone conversations on younger and older drivers. *Human Factors*, 46 (4), 640-649
- STRAYER, D. L. & JOHNSTON, W. A. (2001): Driven to distraction: dual-task studies of simulated driving and conversing on a cellular telephone. *Psychological Science*, 12 (6), 462-466
- SUMMALA, H. (1981): Driver vehicle steering response latencies. *Human Factors*, 23, 683-692
- SUMMALA, H., LAMBLE, D. & LAAKSO, M. (1998): Driving experience and perception of the lead car's braking when looking at in-car targets: Accident Analysis and Prevention, 30 (4), 301-407
- SUZUKI, K. & JANSSON, H. (2003): An analysis of driver's steering behaviour during auditory or haptic warnings for the designing of lane departure warning system. *JSAE Review*, 24 (1), 65-70
- VOLLRATH, M., SCHLEICHER, S. & GELAU, C. (2011): The influence of cruise control and adaptive cruise control on driving behaviour – A driving simulator study. *Accident Analysis & Prevention*, 43 (3), 1134-1139
- YOUNG, M. & STANTON, N. (2007): Back to the future: Brake reaction times for manual and automated vehicles. *Ergonomics*, 50 (1), 46-58
- ZIMMER, K. W. (1995): Reaktionszeit. In: G. CLAUß, G. ERHARDT, H. KULKA, J. LOMPSCHE, H. RÖSLER & K. P. Peter TIMPE (Hrsg.), *Fachlexikon abc Psychologie* (S. 388). Frankfurt am Main: Verlag Harri Deutsch
- ZOMOTOR, A. (1987): *Fahrwerktechnik: Fahrverhalten: Kräfte am Fahrzeug, Bremsverhalten, Lenkverhalten, Testverfahren, Messtechnik, Bewertungsmethoden*. Würzburg: Vogel
- ZUCKERMAN, M. (1979): *Sensation seeking. Beyond the optimal level of arousal*. Hillsdale, NJ: Erlbaum

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Fahrzeugtechnik“

2002

F 39: Optimierung des rückwärtigen Signalbildes zur Reduzierung von Auffahrunfällen bei Gefahrenbremsung
Gail, Lorig, Gelau, Heuzeroth, Sievert € 19,50

F 40: Entwicklung eines Prüfverfahrens für Spritzschutzsysteme an Kraftfahrzeugen
Domsch, Sandkühler, Wallentowitz € 16,50

2003

F 41: Abgasuntersuchung: Dieselfahrzeuge
Afflerbach, Hassel, Mäurer, Schmidt, Weber € 14,00

F 42: Schwachstellenanalyse zur Optimierung des Notausstiegssystems bei Reisebussen
Krieg, Rüter, Weißgerber € 15,00

F 43: Testverfahren zur Bewertung und Verbesserung von Kinderschutzsystemen beim Pkw-Seitenaufprall
Nett € 16,50

F 44: Aktive und passive Sicherheit gebrauchter Leichtkraftfahrzeuge
Gail, Pastor, Spiering, Sander, Lorig € 12,00

2004

F 45: Untersuchungen zur Abgasemission von Motorrädern im Rahmen der WMTC-Aktivitäten
Steven € 12,50

F 46: Anforderungen an zukünftige Kraftrad-Bremssysteme zur Steigerung der Fahrsicherheit
Funke, Winner € 12,00

F 47: Kompetenzerwerb im Umgang mit Fahrerinformationssystemen
Jahn, Oehme, Rösler, Krems € 13,50

F 48: Standgeräuschmessung an Motorrädern im Verkehr und bei der Hauptuntersuchung nach § 29 StVZO
Pullwitt, Redmann € 13,50

F 49: Prüfverfahren für die passive Sicherheit motorisierter Zweiräder
Berg, Rücker, Bürkle, Mattern, Kallieris € 18,00

F 50: Seitenairbag und Kinderrückhaltesysteme
Gehre, Kramer, Schindler € 14,50

F 51: Brandverhalten der Innenausstattung von Reisebussen
Egelhaaf, Berg, Staubach, Lange € 16,50

F 52: Intelligente Rückhaltesysteme
Schindler, Kühn, Siegler € 16,00

F 53: Unfallverletzungen in Fahrzeugen mit Airbag
Klanner, Ambos, Paulus, Hummel, Langwieder, Köster € 15,00

F 54: Gefährdung von Fußgängern und Radfahrern an Kreuzungen durch rechts abbiegende Lkw
Niewöhner, Berg € 16,50

2005

F 55: 1st International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“ – Reports on the ESAR-Conference on 3rd/4th September 2004 at Hannover Medical School € 29,00

2006

F 56: Untersuchung von Verkehrssicherheitsaspekten durch die Verwendung sphärischer Außenspiegel
Bach, Rüter, Carstengerdes, Wender, Otte € 17,00

F 57: Untersuchung von Reifen mit Notlaufeigenschaften
Gail, Pullwitt, Sander, Lorig, Bartels € 15,00

F 58: Bestimmung von Nutzfahrzeugemissionsfaktoren
Steven, Kleinebrahm € 15,50

F 59: Hochrechnung von Daten aus Erhebungen am Unfallort
Hautzinger, Pfeiffer, Schmidt € 15,50

F 60: Ableitung von Anforderungen an Fahrerassistenzsysteme aus Sicht der Verkehrssicherheit
Vollrath, Briest, Schießl, Drewes, Becker € 16,50

2007

F 61: 2nd International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“ – Reports on the ESAR-Conference on 1st/2nd September 2006 at Hannover Medical School € 30,00

F 62: Einfluss des Versicherungs-Einstufungstests auf die Belange der passiven Sicherheit
Rüter, Zoppke, Bach, Carstengerdes € 16,50

F 63: Nutzerseitiger Fehlgebrauch von Fahrerassistenzsystemen
Marberger € 14,50

F 64: Anforderungen an Helme für Motorradfahrer zur Motorradsicherheit
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Schüler, Adolph, Steinmann, Ionescu € 22,00

F 65: Entwicklung von Kriterien zur Bewertung der Fahrzeugbeleuchtung im Hinblick auf ein NCAP für aktive Fahrzeugsicherheit
Manz, Kooß, Klinger, Schellinger € 17,50

2008

F 66: Optimierung der Beleuchtung von Personenwagen und Nutzfahrzeugen
Jebas, Schellinger, Klinger, Manz, Kooß € 15,50

F 67: Optimierung von Kinderschutzsystemen im Pkw
Weber € 20,00

F 68: Cost-benefit analysis for ABS of motorcycles
Baum, Westerkamp, Geißler € 20,00

F 69: Fahrzeuggestützte Notrufsysteme (eCall) für die Verkehrssicherheit in Deutschland
Auerbach, Issing, Karrer, Steffens € 18,00

F 70: Einfluss verbesserter Fahrzeugsicherheit bei Pkw auf die Entwicklung von Landstraßenunfällen
Gail, Pöppel-Decker, Lorig, Eggert, Lerner, Ellmers € 13,50

2009

F 71: Erkennbarkeit von Motorrädern am Tag – Untersuchungen zum vorderen Signalbild
Bartels, Sander € 13,50

F 72: 3rd International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“ – Reports on the ESAR-Conference on 5th / 6th September 2008 at Hannover Medical School € 29,50

F 73: Objektive Erkennung kritischer Fahrsituationen von Motorrädern
Seiniger, Winner € 16,50

2010

F 74: Auswirkungen des Fahrens mit Tempomat und ACC auf das Fahrerverhalten
Vollrath, Briest, Oeltze € 15,50

F 75: Fehlgebrauch der Airbagabschaltung bei der Beförderung von Kindern in Kinderschutzsystemen
Müller, Johannsen, Fastenmaier € 15,50

2011

F 76: Schutz von Fußgängern beim Scheibenanprall II
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Bovenkerk, Gies, Urban € 19,50

F 77: 4th International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden. € 29,50

F 78: Elektronische Manipulation von Fahrzeug- und Infrastruktursystemen
Dittmann, Hoppe, Kiltz, Tuchscheerer € 17,50

F 79: Internationale und nationale Telematik-Leitbilder und IST-Architekturen im Straßenverkehr
Boltze, Krüger, Reusswig, Hillebrand € 22,00

F 80: Untersuchungskonzepte für die Evaluation von Systemen zur Erkennung des Fahrerzustands
Eichinger € 15,00

F 81: Potential aktiver Fahrwerke für die Fahrsicherheit von Motorrädern
Wunram, Eckstein, Rettweiler € 15,50

F 82: Qualität von on-trip Verkehrsinformationen im Straßenverkehr – Quality of on-trip road traffic information – BAST-Kolloquium 23. & 24.03.2011
Lotz, Luks € 17,50
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

2012

F 83: Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung – Gemeinsamer Schlussbericht der Projektgruppe
Gasser, Arzt, Ayoubi, Bartels, Bürkle, Eier, Flemisch, Häcker, Hesse, Huber, Lotz, Maurer, Ruth-Schumacher, Schwarz, Vogt € 19,50

F 84: Sicherheitswirkungen von Verkehrsinformationen – Entwicklung und Evaluation verschiedener Warnkonzepte für Stauendwarnungen
Bogenberger, Dinkel, Totzke, Naujoks, Mühlbacher € 17,00

F 85: Cooperative Systems Stakeholder Analysis
Schindhelm, Calderaro, Udin, Larsson, Kernstock, Jandrisits, Ricci, Geißler, Herb, Vierkötter € 15,50

2013

F 86: Experimentelle Untersuchung zur Unterstützung der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen für ältere Kraftfahrer
Hoffmann, Wipking, Blanke, Falkenstein € 16,50

F 87: 5th International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 88: Comparative tests with laminated safety glass panes and polycarbonate panes
Gehring, Zander € 14,00

F 89: Erfassung der Fahrermüdigkeit
Platho, Pietrek, Kolrep € 16,50

F 90: Aktive Systeme der passiven Fahrzeugsicherheit
Nuß, Eckstein, Berger € 17,90

F 91: Standardisierungsprozess für offene Systeme der Straßenverkehrstelematik
Kroen € 17,00

F 92: Elektrofahrzeuge – Auswirkungen auf die periodisch technische Überwachung
Beyer, Blumenschein, Bönninger, Grohmann, Lehmann, Meißner, Paulan, Richter, Stiller, Calker € 17,00

2014

F 93: Entwicklung eines Verfahrens zur Erfassung der Fahrerbeanspruchung beim Motorradfahren
Buld, Will, Kaussner, Krüger € 17,50

F 94: Biokraftstoffe – Fahrzeugtechnische Voraussetzungen und Emissionen
Pellmann, Schmidt, Eckhardt, Wagner € 19,50

F 95: Taxonomie von Fehlhandlungen bei der Fahrzeugführung
Oehme, Kolrep, Person, Byl € 16,50

F 96: Auswirkungen alternativer Antriebskonzepte auf die Fahrdynamik von Pkw
Schönemann, Henze € 15,50

F 97: Matrix von Lösungsvarianten Intelligenter Verkehrssysteme (IVS) im Straßenverkehr
Matrix of alternative implementation approaches of Intelligent Transport Systems (ITS) in road traffic
Lotz, Herb, Schindhelm, Vierkötter
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 98: Absicherungsstrategien für Fahrerassistenzsysteme mit Umfeldwahrnehmung
Weitzel, Winner, Peng, Geyer, Lotz Sefati € 16,50

F 99: Study on smoke production, development and toxicity in bus fires
Hofmann, Dülsen € 16,50

2015

F 100: Verhaltensbezogene Kennwerte zeitkritischer Fahrmanöver
Powelleit, Muhrer, Vollrath, Henze, Liesner, Pawellek € 17,50

Alle Berichte sind zu beziehen im:

Carl Schünemann Verlag GmbH
Zweite Schlachtpforte 7
28195 Bremen
Tel. (0421) 3 69 03-53
Fax (0421) 3 69 03-48
www.schuenemann-verlag.de

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.